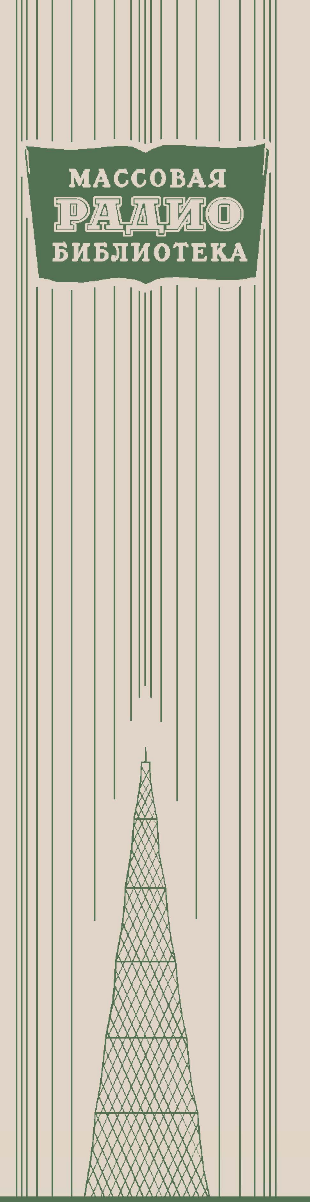
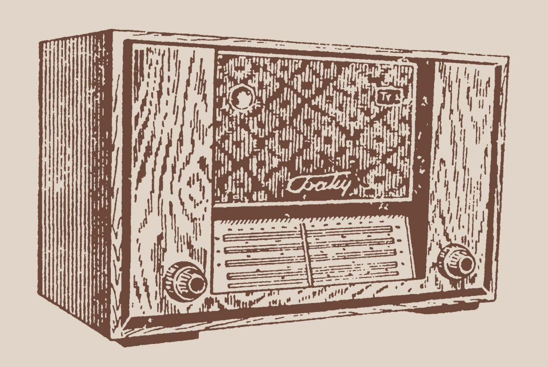


К. А. ШУЛЬГИН

КАК РАБОТАЕТ РАДИОПРИЕМНИК





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

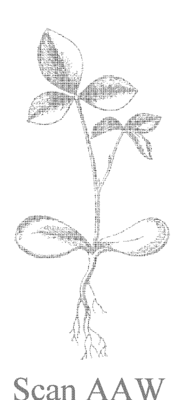
1956

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 242

К. А. ШУЛЬГИН

КАК РАБОТАЕТ РАДИОПРИЕМНИК





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1956 ЛЕНИНГРАД

В брошюре в популярной форме рассказывается об устройстве и принципе действия радиоприемников прямого усиления и приемников супергетеродинного типа. Наряду с освещением физических процессов, происходящих в приемных устройствах, приводятся рекомендации по выбору данных для различных узлов ламповых радиоприемников.

Брошюра предназначена для начинающих радиолюбителей.

Автор *Константин Александрович Шульгин*

„КАК РАБОТАЕТ РАДИОПРИЕМНИК"

* * *

Редактор *Р. Д. Мельниковская* Технич. редактор *И. М. Скворцов*

Сдано в набор 23/I 1956 г. Подписано к печати 22/III 1956 г.

Бумага $84 \times 108^1/_{32}$ Объем 4,1 п. л. Уч.-изд. л. 4,5

Т 02470 Тираж 100 000 экз. 2-й завод 50 001—100 000 экз. Цена 1 р. 80 к. Заказ 1042

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

ВВЕДЕНИЕ

Каждая радиовещательная станция излучает в окружающее пространство электромагнитную энергию — радиоволны. Достигая приемной антенны, радиоволны возбуждают в ней электрические колебания высокой частоты (ВЧ). Так как радиостанций очень много и работают они на волнах разной длины, в приемной антенне возникают электрические колебания многих частот. Амплитуда этих колебаний может быть самой различной и зависит от мощности радиостанций, расстояния между ними и приемной антенной, а также от конструкции и ориентировки антенны в пространстве.

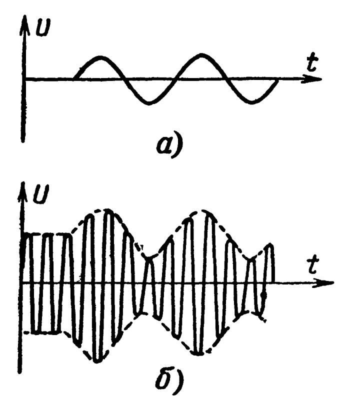
Чтобы услышать радиопередачу, необходимо прежде всего из всей этой массы сигналов выделить сигналы нужной радиостанции. В простейшем радиоприемнике это осуществляется при помощи так называемого входного устройства, через которое напряжение полезного сигнала передается из антенны ко входу первого каскада приемника. В более сложном приемнике в выделении требуемых сигналов участвуют также и некоторые другие его каскады.

Способность приемника выделять нужные сигналы называется избирательностью. Чем лучшей избирательностью обладает приемник, тем меньшие помехи приему создают радиостанции, работающие на частотах, близких к частоте принимаемой радиостанции.

Однако, чтобы услышать передачу, только выделить сигналы интересующей радиостанции еще недостаточно. При передаче для переноса звуковых колебаний используют колебания высокой частоты, амплитуда (или частота) которых изменяется точно в соответствии с амплитудой и частотой колебаний, воспроизводимых перед микрофоном (фиг. 1). Такие колебания называются модулирован-

н ы м и. В соответствии с этим колебания высокой частоты, возбуждаемые в приемной антенне, являются модулированными. Такие колебания нельзя непосредственно преобразовать в звуковые ни при помощи головных телефонов, ни при помощи громкоговорителя. Поэтому, чтобы воспроизвести радиопередачу, приходящие сигналы нужно п р о д е т е к т и р о в а т ь — получить из них колебания низкой частоты (НЧ) соответствующие передаваемым.

Таким образом, даже самый простой радиоприемник должен содержать входное устройство, выделяющее сигналы принимаемой радиостанции, детектор, преобразующий эти сигналы в электрические колебания низкой частоты, и телефоны, которые превращают электрические колебания в звуковые. Подобные простейшие радиоприемники называются детекторными.



Фиг. 1. Графики колебаний.
а — колебания низкой частоты; *б* — модулированные колебания высокой частоты.

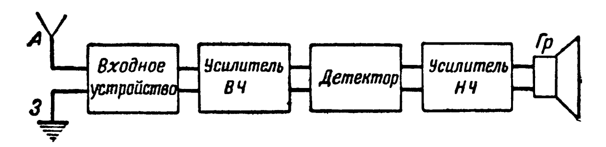
Существенным недостатком детекторных приемников является то, что они не дают громкоговорящего приема, не позволяют принимать маломощные отдаленные радиостанции и имеют плохую избирательность. Для осуществления громкоговорящего приема местных радиостанций к детекторному приемнику нужно добавить у с и л и т е л ь н и з к о й ч а с т о т ы. Однако услышать передачи дальних радиостанций на такой приемник не удастся даже и при наличии очень хорошего усилителя. Объясняется это тем, что для нормальной работы детектора к нему нужно подвести довольно большое высокочастотное напряжение. Дальние же радиостанции создают на входном контуре очень малые напряжения. Поэтому для приема передач дальних радиостанций приходящие от них сигналы, прежде чем подвести к детектору, нужно усилить. Это можно сделать при помощи у с и л и т е л я в ы с о к о й ч а с т о т ы (ВЧ).

Скелетная схема приемника, имеющего входное устройство, усилитель ВЧ, детектор и усилитель НЧ, приведена на фиг. 2. Приемники такого типа называются приемниками

прямого усиления, так как усиление напряжения сигнала до детектора производится в них на той же частоте, на которой работает принимаемая радиостанция.

При отсутствии модуляции, т. е. в течение того времени, пока не производится передача программы (передача звуковых колебаний), радиостанция излучает колебания только одной частоты, которая называется несущей. Когда говорят на какой частоте работает та или иная радиостанция, всегда имеют в виду именно эту несущую частоту.

Модулированные колебания являются сложными и складываются из колебаний целого ряда частот, называемого спектром частот. В этот спектр входят несущая частота и боковые частоты, образующие-



Фиг. 2. Скелетная схема приемника прямого усиления.

ся в результате модуляции колебаний несущей частоты колебаниями звуковых частот. При этом каждая звуковая частота вызывает появление в спектре двух боковых частот, одна из которых на эту частоту ниже несущей, а другая — выше. Так, например, если несущая частота радиостанции составляет 250 *кгц* (250 000 *гц*), а модулирующая 5 *кгц* (5 000 *гц*), то первая (нижняя) боковая частота равна $250 - 5 = 245$ *кгц*, а вторая (верхняя) $250 + 5 = 255$ *кгц*. Полный спектр такой радиостанции состоит из трех частот: нижней боковой 245 *кгц*, несущей 250 *кгц* и верхней боковой 255 *кгц*. Чем выше тон передаваемых колебаний, тем больше отличаются боковые частоты от несущей.

При передаче речи или музыки на колебания несущей частоты воздействуют одновременно самые различные по частоте звуковые колебания. Вследствие этого радиостанция при работе излучает целый ряд боковых частот, называемый полосой боковых частот. Для неискаженного воспроизведения радиопередачи необходимо принять и одинаково усилить колебания всей этой полосы частот. Таким образом, высокочастотный тракт приемника — входное устройство, усилитель высокой частоты и детектор — должны равномерно пропустить определенную полосу частот.

Спектр частот, излучаемый радиостанцией при радиовещательной передаче, составляет около 20 *кгц*. Поэтому желательно, чтобы такую же полосу частот пропускал и высокочастотный тракт приемника. Однако, как будет видно из дальнейшего, полностью это требование выполнить удается довольно редко, и приемник пропускает меньшую полосу. Это несколько нарушает естественность воспроизведения радиопередачи.

Кроме приемников прямого усиления, существуют более сложные супергетеродинные приемники. В них высокочастотные колебания, приходящие от принимаемой радиостанции, преобразуются в колебания другой высокой частоты, называемой промежуточной, на которой и происходит основное усиление сигнала. Супергетеродинные приемники более чувствительны, чем приемники прямого усиления, имеют лучшую избирательность и обладают рядом других преимуществ. Поэтому они получили наиболее широкое распространение.

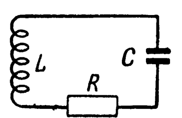
В первой части брошюры разбираются узлы схем, общие для приемников обоих типов, и приемники прямого усиления, а во второй — супергетеродинные приемники.

ПРИЕМНИКИ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

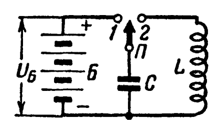
КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Колебательные контуры являются непременной составной частью каждого радиоприемника, радиопередатчика и многих других радиотехнических устройств. Причиной такого распространения колебательного контура является его способность отзываться на колебания той частоты, на которую он настроен. Это явление, называемое электрическим резонансом, является основой радиотехники.

Собственные колебания в контуре. Колебательный контур (фиг. 3) состоит из индуктивности L, емкости C и активного сопротивления R. В свою очередь в емкость C входят емкость конденсатора контура, собственная емкость катушки и емкость цепи, к которой контур подключен.



Фиг. 3. Эквивалентная схема колебательного контура.

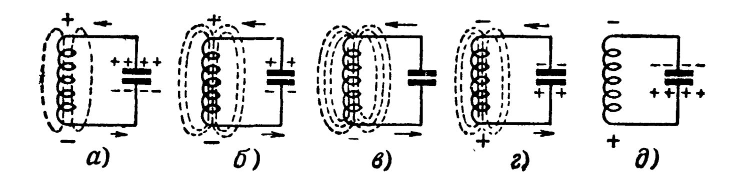


Фиг. 4. Схема для пояснения процессов, происходящих в колебательном контуре.

Для рассмотрения процессов, происходящих в контуре, соберем по схеме фиг. 4 макет из батареи *Б*, переключателя *П*, катушки индуктивности L и конденсатора C. Установив переключатель *П* в положение *1*, подключим конденсатор к батарее; под действием напряжения $U_Б$ он зарядится.

Переведем теперь переключатель в положение *2*. Как только заряженный конденсатор окажется подключенным к катушке, он начинает разряжаться и через последнюю по-

течет ток. Одновременно вокруг катушки появится магнитное поле и на ее концах образуется э. д. с. самоиндукции. В начальный период скорость нарастания магнитного поля максимальна, поэтому эта э. д. с. также максимальна и по своему значению близка к напряжению U_C между обкладками конденсатора. Так как э. д. с. самоиндукции направлена навстречу напряжению U_C, то она препятствует стремительному нарастанию тока, в результате чего в первое мгновение ток разряда ничтожно мал и почти вся энергия, запасенная конденсатором, еще остается сосредоточенной в нем (фиг. 5,*а*). Далее ток непрерывно увеличивается, энергия, сосредоточенная в конденсаторе, убывает, переходя в энергию магнитного поля катушки, которое продол-



Фиг. 5. Процессы, происходящие в колебательном контуре.

жает нарастать (фиг. 5,*б*). Однако скорость его нарастания постепенно замедляется, вследствие чего э. д. с. самоиндукции падает. К моменту, когда конденсатор полностью разрядится и напряжение между его обкладками станет равным нулю (фиг. 5,*в*), ток в цепи достигнет максимального значения, а э. д. с. самоиндукции упадет до нуля.

Казалось, ток в цепи должен был прекратиться. Однако этого не происходит. Как только ток начнет ослабевать, снова станет изменяться магнитное поле катушки, но теперь уже уменьшаясь, и на ее концах возникнет э. д. с. самоиндукции направления, обратного предыдущему. Эта э. д. с. препятствует прекращению тока, вследствие чего в контуре в прежнем направлении продолжает протекать ток, перезаряжая конденсатор. При этом нижняя пластина конденсатора приобретает положительный потенциал, а верхняя — отрицательный (фиг. 5,*г*). Постепенно энергия магнитного поля убывает, а ток уменьшается. Когда магнитное поле катушки исчезнет, вся энергия будет возвращена конденсатору, и он окажется перезаряженным (фиг. 5,*д*).

Далее конденсатор опять начнет разряжаться, и весь процесс повторится, отличаясь от рассмотренного лишь тем, что ток через катушку потечет в обратном направлении — от нижней обкладки к верхней — и полярность напряжения на конденсаторе после перезаряда станет такой же, какой она была в начале процесса. Таким образом, в контуре произойдет один полный цикл колебательного процесса.

После перезаряда конденсатор снова начнет разряжаться и т. д. и в контуре будут происходить колебания: периодически будут изменяться напряжения на конденсаторе и на катушке и ток в цепи, а энергия будет переходить из электрического поля конденсатора в магнитное поле катушки и обратно. Такие колебания в контуре принято называть собственными колебаниями.

Частота собственных колебаний зависит от емкости контура и индуктивности его катушки. Чем больше емкость конденсатора, тем больше времени необходимо для его разряда и заряда, а следовательно, тем меньшее число раз он успевает перезаряжаться за 1 сек., т. е. тем ниже частота собственных колебаний. С другой стороны, чем больше индуктивность катушки, тем медленнее нарастает и уменьшается ток в контуре, что также приводит к снижению частоты его собственных колебаний.

Таким образом, с увеличением индуктивности катушки и емкости контура частота его собственных колебаний понижается, а при уменьшении — возрастает. Если сделать один из этих параметров переменным, можно плавно и в широких пределах менять частоту собственных колебаний контура.

Когда известны индуктивность и емкость контура, можно подсчитать частоту его собственных колебаний, пользуясь формулой

$$f = \frac{159\,000}{\sqrt{L \cdot C}},$$

в которой f выражена в килогерцах (*кгц*), L — в микрогенри (*мкгн*) и C — в пикофарадах (*пф*).

Например, если емкость контура $C = 200$ *пф*, индуктивность $L = 600$ *мкгн*, то частота собственных колебаний

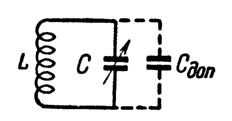
$$f = \frac{159\,000}{\sqrt{600 \cdot 200}} = 460 \text{ кгц}.$$

На практике часто бывает необходимо определить индуктивность или емкость контура по заданной частоте и одному из его параметров. Это можно сделать по формулам

$$L=\frac{2{,}53\cdot 10^{10}}{f^2\cdot C} \quad \text{и} \quad C=\frac{2{,}53\cdot 10^{10}}{f^2\cdot L},$$

где L — в *мкгн*, C — в *пф* и f — в *кгц*.

Диапазон частот, в пределах которого можно при помощи конденсатора переменной емкости изменять частоту собственных колебаний контура, зависит от соотношения между максимальной и минимальной емкостями контура. Максимальная емкость складывается из максимальной емкости $C_{макс}$ конденсатора C и дополнительной емкости $C_{доп}$, образующейся из собственной емкости катушки и емкости цепи, в которую включен контур (фиг. 6). В минимальную емкость контура входят минимальная (начальная) емкость $C_{мин}$ конденсатора C, а также емкость $C_{доп}$:



Фиг. 6. Схема колебательного контура, настраиваемого конденсатором переменной емкости.

$$f_{макс}=f_{мин}\sqrt{\frac{C_{макс}+C_{доп}}{C_{мин}+C_{доп}}}.$$

Соотношение между максимальной $f_{макс}$ и минимальной $f_{мин}$ частотами, на которые может быть настроен контур, называется коэффициентом перекрытия диапазона $K_д$:

$$K_д=\frac{f_{макс}}{f_{мин}}=\sqrt{\frac{C_{макс}+C_{доп}}{C_{мин}+C_{доп}}}.$$

Если, например, полная емкость контура изменится в 4 раза, то коэффициент перекрытия по диапазону $K_д$ окажется равным 2, а если в 9 раз, то $K_д$ будет равен 3. Из приведенной формулы видно, что чем больше начальная емкость контура, тем меньший диапазон частот он может перекрыть.

Рассматривая колебательный процесс в контуре, мы не учитывали, что часть энергии, запасенной конденсатором при заряде, расходуется на нагревание провода катушки,

соединительных проводников, близко находящихся деталей, диэлектрика конденсатора, излучение и т. д. Вследствие этих потерь при каждом перезаряде в конденсатор возвращается все меньше и меньше энергии. Если эти потери не восполнять, то при каждом последующем колебании наибольшее значение тока в цепи уменьшается, и через некоторое время вся энергия, полученная конденсатором от батареи, израсходуется и колебания в контуре прекратятся. Такие колебания, амплитуда которых непрерывно уменьшается, называются з а т у х а ю щ и м и. Чем больше энергии теряет контур за один период, тем быстрее затухают в нем колебания.

Если включить в колебательный контур активное сопротивление, то токи высокой частоты, протекая через это сопротивление, будут его разогревать. Вследствие расхода энергии на нагрев сопротивления процесс затухания колебаний ускорится. Аналогично влияет на колебательный процесс в контуре расход запасенной в нем энергии на излучение, нагревание близко расположенных металлических предметов и т. д. Поэтому, рассматривая колебательный контур, можно считать, что в нем действует некоторое дополнительное активное сопротивление, оказывающее на протекающие в нем процессы такое же влияние, как перечисленные выше очаги потерь. Это сопротивление называется в н о с и м ы м.

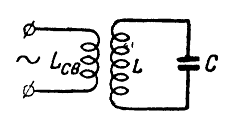
Таким образом, полное активное сопротивление контура складывается из сопротивления переменному току провода катушки и соединительных проводов, сопротивления потерь диэлектрика конденсатора и каркаса катушки, а также вносимого сопротивления.

Для того чтобы получить незатухающие колебания, энергию, теряемую в контуре, тем или иным способом пополняют.

Избирательные свойства контура. На практике колебательный контур часто находится в условиях, когда к нему непрерывно подводится колебательная энергия извне, причем частота подводимых колебаний не всегда совпадает с частотой его собственных колебаний.

Допустим, что энергия вводится в контур посредством катушки связи $L_{св}$, индуктивно связанной с катушкой контура L (фиг. 7). Ток высокой частоты, проходя по катушке $L_{св}$, создает вокруг нее переменное магнитное поле, часть силовых линий которого охватывает также и витки

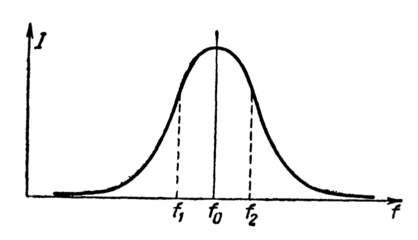
контурной катушки. В результате в последней наводится э. д. с. и в контуре течет переменный ток. Частота этого тока равна частоте подводимых колебаний и не связана с собственной частотой контура. Поэтому возникшие в контуре колебания в отличие от собственных называются **вынужденными**.



Фиг. 7. Введение высокочастотных колебаний в контур посредством индуктивной связи.

Если, поддерживая постоянным уровень подводимых колебаний, изменять их частоту, то по мере приближения ее к собственной частоте контура ток в нем будет возрастать и достигнет максимального значения, когда эти частоты окажутся равными (фиг. 8). Дальнейшее изменение частоты приведет к уменьшению тока в контуре. Таким образом, колебательный контур является резонансным — он лучше всего отзывается на колебания, частота которых равна его собственной частоте. Частота, равная частоте собственных колебаний контура, называется **резонансной** и обычно обозначается f_0.

Резонансные свойства контуров широко применяются для разделения колебаний разных частот. В самом деле, если к катушке связи подвести ряд переменных напряжений, имеющих одинаковую амплитуду, но отличающихся друг от друга по частоте, то только те колебания, частота которых близка к резонансной частоте контура, вызовут в нем заметный ток. Устанавливая, например, при помощи конденсатора переменной емкости собственную частоту контура равной частоте тех или иных колебаний, можно выделить по желанию любые из колебаний, подведенных к катушке $L_{св}$. Так производится обычно настройка радиоприемника на желаемую радиостанцию.



Фиг. 8. Резонансная (частотная) характеристика контура.

Из фиг. 8 видно, что заметный ток I в контуре создают колебания, не только имеющие частоту f_0, но и колебания других частот, сравнительно мало отличающихся от резонансной. Так, например, колебания с частотами f_1 и f_2 вы-

зовут в контуре ток, всего на 30% меньший, чем колебания резонансной частоты. Следовательно, контур достаточно хорошо выделяет колебания не только одной частоты, а полосы частот. Это свойство колебательного контура очень важно для радиоприемной техники, так как всякая передающая радиостанция излучает не одну частоту, а целый спектр близких друг к другу частот и все эти частоты необходимо отобрать и усилить.

Усилительные свойства контура. Раньше было отмечено, что когда в цепи контура протекает переменный ток, на катушке и конденсаторе образуются переменные напряжения. Появление этих напряжений говорит о том, что и катушка индуктивности и конденсатор представляют для переменного тока некоторое сопротивление. Особенностью таких сопротивлений является то, что они не поглощают энергии. Поэтому в отличие от активного сопротивления их называют реактивными и обозначают буквой X с индексом L или C соответственно с тем, к индуктивности или к емкости относится данное сопротивление. Кроме того, при последовательном соединении катушки и конденсатора результирующее реактивное сопротивление $X_{рез}$ цепи не увеличивается, а уменьшается — оно равно разности их реактивных сопротивлений:

$$X_{рез} = X_L - X_C.$$

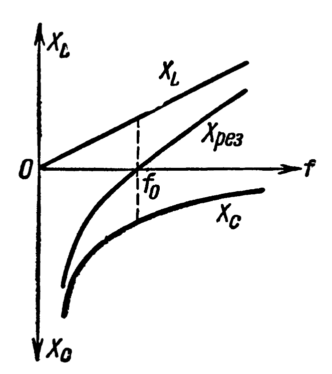
Величина сопротивления переменному току как катушки индуктивности, так и конденсатора зависит от частоты:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad \text{и} \quad X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C},$$

где X_L и X_C — в омах (*ом*), f — в герцах (*гц*), L — в генри (*гн*) и C — в фарадах (*ф*).

Когда частота подводимых колебаний во много раз ниже собственной частоты контура ($f \ll f_0$), сопротивление конденсатора переменному току велико и во много раз превышает сопротивление катушки. Вследствие этого ток в контуре и напряжение на катушке весьма малы, а напряжение на конденсаторе по величине приближается к напряжению источника. Такая же картина имеет место и при $f \gg f_0$, но в этом случае большим оказывается реактивное сопротивление катушки, напряжение на ней близко к напряжению источника, а напряжение на конденсаторе близко

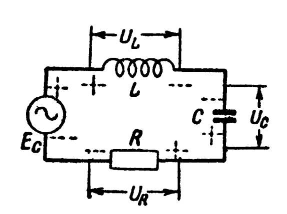
к нулю. При частотах, лежащих между этими двумя, принятыми нами за крайние, сопротивление цепи переменному току оказывается меньшим, чем на крайних частотах, так как уменьшение большего из сопротивлений происходит значительно быстрее, чем возрастание меньшего (фиг. 9). Следовательно, большим оказывается и ток в контуре.



Фиг. 9. Зависимости реактивных сопротивлений катушки индуктивности и конденсатора контура от частоты.

Максимального значения ток в контуре достигает тогда, когда сопротивления переменному току индуктивности и емкости, а следовательно, и напряжения на них равны между собой. Происходит это потому, что в этом случае результирующее реактивное сопротивление цепи $X_{рез}$ равно нулю, а полное сопротивление цепи переменному току минимально и равно только активному сопротивлению контура. Следовательно, в этом случае все вводимое в контур напряжение выделяется на его активном сопротивлении. Рассмотренное явление наблюдается только при резонансе.

Реактивное сопротивление конденсатора и катушки на резонансной частоте сравнительно велики и в десятки, а иногда и в сотни раз превышают активное сопротивление контура. Поэтому образующиеся на них напряжения U_L и U_C во много раз превышают величину вводимой в контур э. д. с. E_c. Однако эти напряжения действуют навстречу друг другу (фиг. 10) и равны между собой, вследствие чего они друг друга компенсируют и не оказывают влияния на ток в контуре. Сняв, например, с конденсатора контура образовавшееся на нем напряжение, мы получим большое усиление напряжения сигнала.



Фиг. 10. Эквивалентная схема колебательного контура с введенной э. д. с.

Отношение напряжения на конденсаторе U_C к э. д. с.

E_c в контуре, показывающее, во сколько раз колебательный контур повышает напряжение сигнала при резонансе, называют **добротностью** контура и обозначают буквой Q. Добротность контура тем больше, чем меньше его активное сопротивление R. Ее можно вычислить по формуле

$$Q = \frac{0{,}00628 \cdot f_0 \cdot L}{R},$$

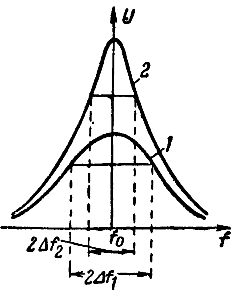
где f_0 — в *кгц*, L — в *мкгн* и R — в *ом*.

Например, если $f_0 = 460$ *кгц*, $L = 600$ *мкгн* и $R = 15$ *ом*, то добротность контура

$$Q = \frac{0{,}00628 \cdot 460 \cdot 600}{15} = 115.$$

Добротность колебательных контуров различных конструкций, применяемых в радиоприемных устройствах, на всех диапазонах волн имеет величину одного и того же порядка и обычно лежит в пределах от 30—40 до 150—200.

Величину, обратную добротности $\left(d = \frac{1}{Q}\right)$, называют **затуханием** контура.



Фиг. 11. Зависимость формы резонансной кривой от добротности контура.

1 — резонансная кривая контура с низкой добротностью; *2* — с высокой добротностью.

От добротности колебательного контура зависят его избирательные свойства, а также полоса частот, которую он достаточно хорошо пропускает (фиг. 11). Чем выше добротность, тем острее резонансная кривая и тем лучше выделяет контур сигналы, на частоту которых он настроен. Однако при этом сужается полоса пропускаемых им частот.

За полосу пропускания $2\Delta f$ контура обычно принимают ширину полосы частот, в пределах которой напряжение на его конденсаторе уменьшается до уровня $1/\sqrt{2}$ или 0,707 от напряжения при резонансе. Эта полоса ровно в Q раз меньше резонансной частоты контура:

$$2\Delta f = \frac{f_0}{Q}.$$

Если, например, $f_0 = 460$ *кгц*, а $Q = 115$, то полоса пропускания

$$2\Delta f = \frac{460}{115} = 4 \text{ кгц}.$$

При очень высокой добротности контура его полоса пропускания может оказаться недостаточной для удовлетворительного приема радиопередач. Это ограничивает пределы повышения добротности контура, а следовательно, и его избирательности. Невозможность одновременного получения высокой избирательности и достаточно широкой полосы пропускания является недостатком простого колебательного контура как избирательного устройства приемника. Более совершенным избирательным устройством является система из двух и более связанных между собой колебательных контуров, называемая полосовым фильтром. Такая система позволяет разрешить отмеченное выше противоречие между избирательностью и полосой пропускания.

Если колебательный контур (фиг. 6) включен в какую-либо цепь, то для протекающего через него переменного тока контур представляет собой некоторое сопротивление. Величина его зависит от частоты и максимальна для тех колебаний, частота которых равна частоте собственных колебаний контура. Это максимальное сопротивление называется резонансным и обозначается $Z_{рез}$:

$$Z_{рез} = 0{,}00628 \cdot f_0 \cdot L \cdot Q \quad \text{или} \quad Z_{рез} = 10^6 \cdot \frac{L}{C \cdot R},$$

где $Z_{рез}$ и R — в *ом*, L — в *мкгн*, C — в *пф* и f_0 — в *кгц*.

Как видно из этих формул, чем выше добротность и индуктивность контура, тем больше его резонансное сопротивление. Кроме того, если при данной катушке перестраивать контур, изменяя емкость конденсатора C, то с повышением собственной частоты контура (емкость конденсатора уменьшается) $Z_{рез}$ увеличивается, а с понижением — уменьшается.

ВХОДНЫЕ УСТРОЙСТВА

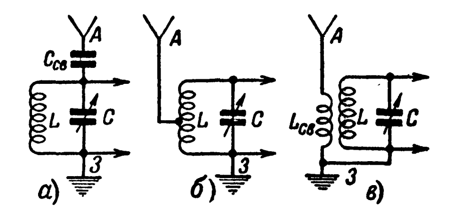
Входное устройство служит для передачи напряжения полезного сигнала от входных зажимов к первому каскаду приемника. Простейшим входным устройством является одиночный колебательный контур, настраиваемый на частоту принимаемой радиостанции и тем или иным способом связанный с антенной.

Благодаря резонансным свойствам контура входного устройства напряжение полезного сигнала на его выходе

обычно в 3—6 раз превышает э. д. с. сигнала в антенне. Число, показывающее, чему равно усиление входного устройства, называют **коэффициентом передачи напряжения** входного устройства.

Схемы наиболее часто встречающихся входных устройств приведены на фиг. 12. Они отличаются друг от друга лишь способом связи контура с антенной.

Присоединять антенну к контуру непосредственно не следует, так как она, обладая большой емкостью относительно земли, во много раз увеличит полную минимальную емкость контура и тем самым значительно сократит перекрываемый им диапазон частот. Помимо того, при таком способе подключения антенны связь между ней и контуром получается очень сильной (сильной называют такую связь, при которой количество передаваемой энергии велико) и антенна вносит в контур большое сопротивление, что понижает его добротность. Последнее приводит к значительному ухудшению избирательности входного устройства и уменьшению его коэффициента передачи. Наконец, при очень сильной связи изменения параметров антенны, а также смена антенн вызывают расстройку контура и связанное с этим ухудшение чувствительности и избирательности приемника. Поэтому антенну обычно подключают к контуру либо через конденсатор (фиг. 12,*а*), либо к части витков контурной катушки (фиг. 12,*б*), или, наконец, связывают ее с контурной катушкой индуктивно (фиг. 12,*в*).



Фиг. 12. Принципиальные схемы входных устройств.

а — с емкостной связью; *б* — с автотрансформаторной связью; *в* — с индуктивной связью.

В случае слабой связи антенны с контуром избирательность входного устройства хорошая, но коэффициент передачи напряжения мал. Поэтому, изменяя емкость конденсатора связи $C_{св}$, место присоединения антенны к контурной катушке L или расстояние между катушками $L_{св}$ и L, стремятся подобрать такую связь с антенной, при которой входное устройство одновременно обладает достаточно хорошей избирательностью и имеет сравнительно большой коэффициент передачи напряжения. Наивыгоднейшей с

этой точки зрения является связь, равная половине оптимальной (оптимальной называют такую связь, при которой коэффициент передачи напряжения максимален). При такой связи коэффициент передачи напряжения равен примерно 0,8 от максимального, а добротность контура уменьшается всего лишь на 25%.

Емкостная связь с антенной (фиг. 12,*а*) является простейшей и применяется в несложных приемниках. При работе приемника в диапазоне средних волн наивыгоднейшая связь получается, когда $C_{св}=25\div30$ *пф*, а в диапазоне длинных волн, когда $C_{св}=30\div50$ *пф*.

Существенным недостатком этой схемы является большая неравномерность коэффициента передачи напряжения по диапазону: он резко возрастает при перестройке контура на более высокую частоту (при переходе к началу диапазона) и уменьшается при перестройке его на частоту более низкую (к концу диапазона). Объясняется это тем, что сопротивление конденсатора $C_{св}$ с повышением частоты уменьшается и поэтому связь контура с антенной увеличивается. Кроме того, при настройке контура конденсатором переменной емкости его резонансное сопротивление к началу диапазона повышается, что также способствует увеличению связи, а следовательно, и коэффициента передачи.

Схема с автотрансформаторной связью (фиг. 12,*б*) несколько более сложна, так как для ее осуществления нужно сделать отвод от контурной катушки *L*. Но коэффициент передачи напряжения при ней изменяется по диапазону значительно меньше, чем при емкостной связи: его непостоянство по диапазону определяется здесь в основном изменением резонансного сопротивления контура *LC* при перестройке.

Наиболее равномерным по диапазону получается коэффициент передачи напряжения в случае применения схемы с индуктивной связью (фиг. 12,*в*). Наилучшие результаты при этом получаются тогда, когда индуктивность катушки связи $L_{св}$ выбрана так, что собственная частота антенной цепи f_A в $1,5\div2$ раза ниже минимальной частоты $f_{мин}$ перекрываемого диапазона, т. е. $f_A=(0,5\div0,7)f_{мин}$. При этом коэффициент передачи напряжения в начале диапазона немного меньше, чем в конце.

Собственная частота антенной цепи определяется индуктивностью катушки связи $L_{св}$, ее собственной емкостью,

а также собственной индуктивностью и емкостью антенны. В такой схеме индуктивность катушки связи для средневолнового диапазона выбирается в пределах 1—3 *мгн*, а для длинноволнового диапазона — в пределах 8—15 *мгн*. Наивыгоднейшую связь с антенной подбирают, изменяя расстояние между катушками $L_{св}$ и L.

Для того чтобы легче было уяснить процессы, происходящие в усилителе высокой частоты и детекторном каскаде приемника, рассмотрим сначала, как работает усилитель низкой частоты.

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

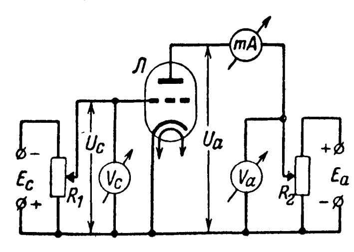
Усилители низкой частоты делятся на усилители напряжения и усилители мощности. Назначение первых из них — усилить подводимое напряжение НЧ до уровня, необходимого для возбуждения усилителя мощности, являющегося в приемнике оконечным. Последний должен поднять мощность колебаний низкой частоты до значения, требуемого для нормальной работы громкоговорителя, подключенного к его выходу.

Для того чтобы воспроизведение передачи не сопровождалось заметными искажениями, усилитель НЧ должен примерно одинаково усиливать колебания в пределах определенной полосы частот. Так, например, для удовлетворительного воспроизведения речи усиление должно быть достаточно равномерным в полосе примерно от 200 до 3 000 *гц*, а для естественного воспроизведения музыкальных передач — от 50 до 10 000 — 12 000 *гц*. Если колебания одних частот будут усиливаться больше, чем других, усилитель будет вносить частотные искажения, и тембр передачи изменит свой оттенок, звучание станет неестественным.

В усилителе не должна заметно искажаться форма подводимых к нему колебаний или, как говорят, он не должен вносить заметных нелинейных искажений. В случае больших нелинейных искажений передача становится неразборчивой, сопровождается хрипами, дребезжанием. Наконец, усилитель должен работать устойчиво и не создавать фона переменного тока, сильно ухудшающего качество воспроизведения.

В связи с тем, что обязательным элементом усилителя НЧ является электронная лампа, рассмотрим кратко ее основные свойства.

Основные свойства электронной лампы. Величина тока, протекающего через лампу, зависит от напряжений, приложенных к ее аноду и управляющей сетке. Чем выше положительное напряжение на аноде лампы, тем больший ток протекает через нее; с понижением анодного напряжения анодный ток уменьшается. Однако это влияние не особенно велико, — чтобы анодный ток заметно изменился, необходимо довольно сильно изменить напряжение на аноде лампы.



Фиг. 13. Схема для снятия статических характеристик ламп.

Значительно больше влияет на величину анодного тока напряжение на сетке: если оно положительно, то сетка помогает аноду притягивать к себе электроны и через лампу протекает относительно большой ток; если же оно отрицательно, то сетка возвращает часть электронов, направившихся к аноду, обратно к катоду лампы, вследствие чего анодный ток в этом случае оказывается значительно меньшим, чем в предыдущем. Наконец, при большом отрицательном напряжении на сетке она возвращает к катоду все вылетающие из него электроны. В результате этого электроны не достигают анода лампы и ток через нее прекращается. Таким образом, изменяя напряжение на сетке лампы, можно управлять ее анодным током.

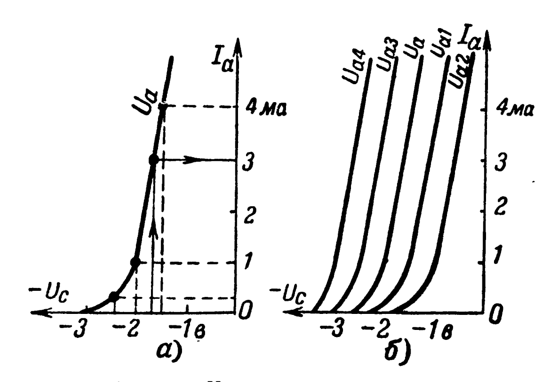
Если включить лампу так, как показано на фиг. 13, то, изменяя при помощи потенциометра R_1 напряжение U_c на ее сетке и поддерживая потенциометром R_2 неизменным напряжение U_a на аноде, можно снять с лампы характеристику зависимости ее анодного тока I_a от напряжения U_c (фиг. 14,*а*) Такая характеристика называется с т а т и ч е с к о й.

Статическая характеристика строится следующим образом. Вначале устанавливают на управляющей сетке лампы такое напряжение, при котором анодный ток равен или близок к нулю, и записывают это напряжение (например,—3 *в*). Затем, уменьшая (через равные интервалы) отрицательное напряжение на сетке, фиксируют для каждого значения напряжения U_c анодный ток I_a лампы и составляют соответствующую таблицу. Например:

U_c, *в*	— 3	— 2,5	— 2	— 1,5	...
I_a, *ма*	0	0,2	1	4	...

Анодное напряжение при этом поддерживается строго постоянным.

По полученным данным строят график. Для этого проводят две взаимно перпендикулярные оси: вертикальную и горизонтальную. Вдоль вертикальной оси вверх откладывают в миллиамперах значения анодного тока, а вдоль горизонтальной (влево) — отрицательное напряжение на сетке в вольтах. При этом точку пересечения осей принимают



Фиг. 14. Характеристики ламп.
а — статическая характеристика; *б* — семейство статических характеристик.

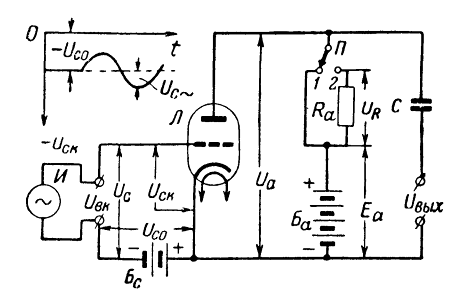
за нуль. После этого в каждой точке горизонтальной оси, соответствующей напряжению, при котором производилось измерение, восстанавливают перпендикуляр и на нем откладывают значение анодного тока, полученного при данном напряжении на сетке. Соединив все эти точки линией, получают кривую, являющуюся статической характеристикой лампы (фиг. 14,*а*).

Пользуясь статической характеристикой, нетрудно определить, каков будет анодный ток лампы при любом напряжении на ее управляющей сетке. Для этого, отложив по горизонтальной оси нужное напряжение на сетке, восстанавливают перпендикуляр до пересечения со статической характеристикой лампы и далее проводят линию, параллельную горизонтальной оси. Точка пересечения этой линии с вертикальной осью и укажет искомый анодный ток.

На фиг. 14,*а* способ определения анодного тока по заданному напряжению на сетке показан линией со стрелками.

Чем круче идет кривая зависимости I_a от U_c, тем сильнее изменяется анодный ток лампы при одинаковом изменении напряжения на ее сетке. Для количественной оценки этого свойства лампы, выполнения различных расчетов и сравнения ламп между собой введен специальный параметр, называемый **крутизной характеристики** лампы S. Он показывает, на сколько миллиампер изменится анодный ток лампы при изменении напряжения на ее сетке на 1 *в* и имеет размерность *ма/в*.

На фиг. 14,*б* приведена группа статических характеристик одной и той же лампы, снятых при различных анодных напряжениях. Такая группа называется **семейством характеристик**.

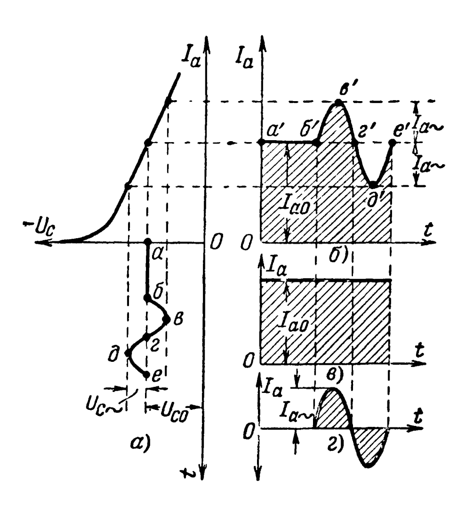


Фиг. 15. Схема, поясняющая принцип действия усилителя.

Принцип действия усилителя. Предположим, что в цепь сетки лампы *Л* (фиг. 15) включены последовательно батарея $Б_c$, дающая напряжение смещения U_{c0}, и источник *И* электрических колебаний звуковой частоты (например, микрофон или звукосниматель), развивающий небольшое переменное напряжение $U_{c\sim}$. Результирующее напряжение $U_{ск}$ на сетке в этом случае остается относительно катода все время отрицательным, но меняется по величине в соответствии с подводимым переменным напряжением $U_{c\sim}$ (график вверху на фиг. 15).

Установим переключатель *П* в положение *1*. При этом анод лампы присоединен непосредственно к анодной батарее $Б_a$ и напряжение U_a на нем равно напряжению E_a источника тока независимо от того, какой ток протекает через лампу. Поэтому при изменении напряжения на сетке лампы значения анодного тока следует определять по ее статической характеристике, снятой при напряжении на аноде, равном E_a.

Когда переменное напряжение $U_{c\sim}$ отсутствует, напряжение на сетке равно напряжению смещения U_{c0} (участок *аб* на фиг. 16,*а*) и ток в анодной цепи остается постоянным, равным I_{a0} (участок *а'б'* на фиг. 16,*б*). Этот ток называют током покоя. С появлением переменного напряжения $U_{c\sim}$ напряжение на сетке лампы начинает изменяться, в результате чего изменяется и анодный ток, возрастая при положительной полуволне переменного напряжения и убывая при отрицательной полуволне (фиг. 16,*б*). Такой пульсирующий ток является сложным и состоит из постоянного (постоянной составляющей) I_{a0} (фиг. 16,*в*) и переменного $I_{a\sim}$ (переменной составляющей) токов. Последний изменяется с частотой подводимого к сетке переменного напряжения (фиг. 16,*г*).



Фиг. 16. Графики, показывающие зависимость между напряжением на сетке и анодным током лампы.

Из графиков, приведенных на фиг. 16, видно, что в момент, когда напряжение на сетке лампы достигает положительного амплитудного значения, положительного амплитудного значения достигает и переменная составляющая анодного тока, и, наоборот, когда напряжение $U_{c\sim}$ доходит до амплитудного отрицательного значения, такое же значение принимает и переменная составляющая анодного тока. Таким образом, характер изменения напряжения на сетке и переменной составляющей анодного тока точно совпадают. О таких токах и напряжениях говорят, что они изменяются в фазе.

Переведем переключатель *П* (фиг. 15) в положение *2* и включим таким путем в анодную цепь лампы в качестве нагрузки активное сопротивление R_a. Теперь уже напря-

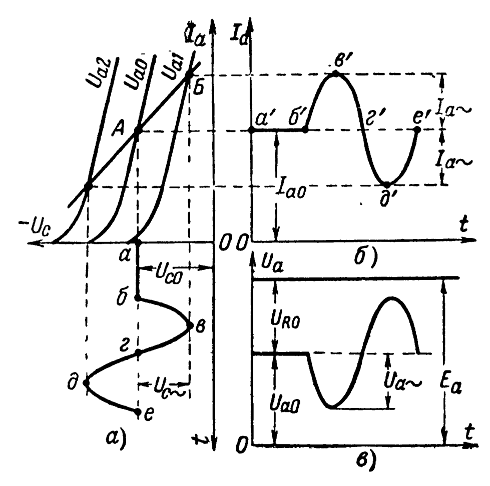
жение на аноде лампы не будет оставаться неизменным и равным напряжению батареи, так как анодный ток I_a, проходя через сопротивление R_a, вызовет на нем падение напряжения $U_R = I_a \cdot R_a$. Если сейчас подать на сетку лампы переменное напряжение, то, как и прежде, при положительной полуволне этого напряжения анодный ток будет возрастать, а при отрицательной — уменьшаться. Однако его изменения окажутся уже значительно меньшими. Объясняется это тем, что с увеличением анодного тока падение напряжения на сопротивлении R_a возрастает и напряжение U_a на аноде лампы уменьшается, препятствуя увеличению анодного тока. При уменьшении тока I_a напряжение U_a возрастает, препятствуя уменьшению анодного тока. Поэтому статическая характеристика лампы, снятая при неизменном напряжении на аноде, непригодна для определения анодного тока при наличии нагрузки в ее анодной цепи.

В состоянии покоя напряжение U_{a0} на аноде лампы равно разности между напряжением E_a и падением напряжения на сопротивлении R_a, создаваемым постоянной составляющей анодного тока, т. е. $U_{a0} = E_a - R_a \cdot I_{a0}$.

При максимальном положительном значении переменного напряжения на сетке лампы напряжение на ее аноде равно уже не U_{a0}, а некоторой другой величине U_{a1}, меньшей, чем U_{a0}. Следовательно, и ток для этого момента нужно определять по статической характеристике, снятой при анодном напряжении U_{a1}. На фиг. 17,*а* приведено семейство статических характеристик, на которых точками *А* и *Б* отмечены оба рассматриваемых случая. Соединив эти точки линией, получим новую характеристику, по которой можно определять анодный ток лампы при наличии в ее анодной цепи активного сопротивления. Такая характеристика называется **динамической** и справедлива только для данного сопротивления нагрузки. Чем больше сопротивление R_a, тем меньше изменяется анодный ток лампы при одном и том же переменном напряжении на ее сетке и тем положе идет динамическая характеристика.

Итак, напряжение на аноде лампы является пульсирующим. Как и всякое пульсирующее напряжение, оно состоит из постоянной составляющей U_{a0} и переменной

составляющей $U_{a\sim}$, изменяющейся с той же частотой, что и частота подводимых колебаний (фиг. 17,*в*). В момент, когда анодный ток достигает наибольшего значения, падение напряжения на сопротивлении R_a также максимально, а напряжение на аноде лампы — минимально, и наоборот, наименьшему значению анодного тока соответствует наибольшее значение напряжения на аноде. Таким образом, фаза переменной составляющей напряжения на аноде лампы противоположна фазе переменной состав-



Фиг. 17. Графики, поясняющие работу лампы при активной нагрузке в ее анодной цепи.

ляющей анодного тока и переменной составляющей напряжения на сетке. Это необходимо хорошо усвоить, так как без твердых знаний соотношений между фазами переменных напряжений на аноде и управляющей сетке лампы невозможно разобраться в схемах усилителей с отрицательной обратной связью.

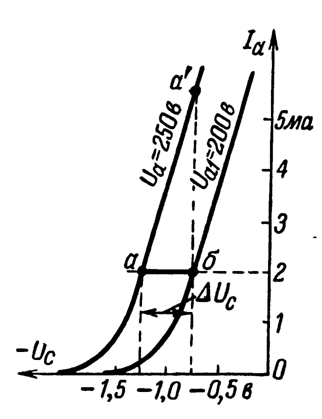
Переменное напряжение через разделительный конденсатор *С* подается на выход усилителя (фиг. 15).

Сопротивление R_a выбирается обычно достаточно большим (в несколько десятков или сотен тысяч ом). Поэтому даже небольшое изменение анодного тока вызывает заметное изменение падения напряжений на этом сопротивлении,

и переменное напряжение $U_{вых}$ на выходе устройства получается значительно бо́льшим, чем на входе. Число K, показывающее, во сколько раз напряжение на выходе каскада больше, чем на входе, называется **коэффициентом усиления** каскада:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

Сопротивления некоторых цепей усилителей НЧ переменному и постоянному току неодинаковы. Поэтому, чтобы их можно было различать, сопротивление цепи переменному току принято обозначать $R_{a\sim}$.



Фиг. 18. Определение коэффициента усиления лампы.

Чем больше сопротивление $R_{a\sim}$, тем большее переменное напряжение образуется на нем при одном и том же напряжении $U_{c\sim}$. Однако рост напряжения на выходе ограничивается тем, что с увеличением $R_{a\sim}$ уменьшается изменение анодного тока лампы, т. е. уменьшается его переменная составляющая. Посмотрим, какой же предельной величины может достигнуть коэффициент усиления.

Теоретически коэффициент усиления каскада максимален тогда, когда сопротивление нагрузки $R_{a\sim}$ бесконечно велико. При этом изменения анодного тока получаются настолько малыми, что динамическая характеристика лампы будет идти горизонтально (прямая *аб* на фиг. 18). Из графика видно, что при изменении напряжения на сетке лампы на величину ΔU_c (что соответствует $U_{вх}$) напряжение на аноде лампы изменяется на величину $\Delta U_a = U_a - U_{a1}$ (соответствует $U_{вых}$).

Отсюда максимально возможный коэффициент усиления каскада равен:

$$K_{макс} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c}.$$

На фиг. 18 $\Delta U_c = 0{,}5$ *в* и $\Delta U_a = 50$ *в*. Следовательно, $K_{макс} = \frac{50}{0{,}5} = 100$.

Производить измерения, когда в анодную цепь лампы включено бесконечно большое сопротивление, практически невозможно. Однако $K_{макс}$ все же можно определить, применив такой прием. Потенциометрами R_1 и R_2 (фиг. 13) устанавливают определенные напряжения на управляющей сетке и на аноде лампы (например, $U_c = -1{,}25$ *в*, а $U_a = 250$ *в*, что соответствует точке *а* на статической характеристике фиг. 18, снятой при анодном напряжении $U_a = 250$ *в*). Затем изменяют напряжение на управляющей сетке лампы на величину ΔU_c (например, на 0,5 *в*); при этом изменится ее анодный ток (точка *а'* на той же характеристике). Далее потенциометром R_2 изменяют напряжение на аноде лампы настолько (ΔU_a), чтобы ее анодный ток принял первоначальное значение (для нашего случая $\Delta U_a = 50$ *в* — точка *б* на характеристике для $U_{a1} = 200$ *в*). Таким образом, мы пришли в ту же точку *б*, что и при построении динамической характеристики. Максимально возможный коэффициент усиления

$$K_{макс} = \frac{50}{0{,}5} = 100.$$

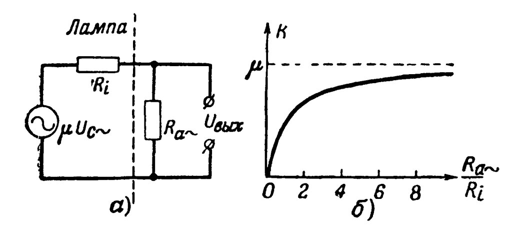
При описанном способе измерения максимально возможного коэффициента усиления мы, по сути дела, определяли свойства не усилителя, а самой лампы, сравнивая, во сколько раз изменение напряжения на ее сетке сильнее влияет на анодный ток, чем изменение напряжения на аноде. Поэтому этот коэффициент называют **коэффициентом усиления лампы** и обозначают буквой μ (мю). Его приводят во всех справочниках по радиолампам.

При определенных постоянных напряжениях на аноде и управляющей сетке усилительные свойства лампы постоянны и не зависят от сопротивления нагрузки. Понижение коэффициента усиления каскада с уменьшением $R_{a\sim}$ объясняется тем, что при этом возрастает падение напряжения на **внутреннем сопротивлении** лампы R_i, которое она представляет переменному току. Это хорошо видно из эквивалентной схемы усилителя, приведенной на фиг. 19,*а*. Лампа здесь изображена как генератор переменного тока, развивающий э. д. с., равную $\mu U_{c\sim}$ — произведению переменного напряжения $U_{c\sim}$ на входе каскада на коэффициент усиления μ лампы, и обладающий

внутренним сопротивлением R_i переменному току. Источники питания для упрощения не показаны. Чем меньше $R_{a\sim}$, тем большее напряжение падает на внутреннем сопротивлении лампы R_i и меньшее выделяется на сопротивлении нагрузки $R_{a\sim}$. Иначе говоря, сопротивления R_i и $R_{a\sim}$ составляют делитель напряжения. Отсюда видно, что коэффициент усиления каскада

$$K = \mu \frac{R_{a\sim}}{R_{a\sim} + R_i}.$$

Таким образом, чем больше сопротивление в анодной цепи лампы, тем меньшая часть переменного напряжения теряется на сопротивлении R_i и тем большим получается



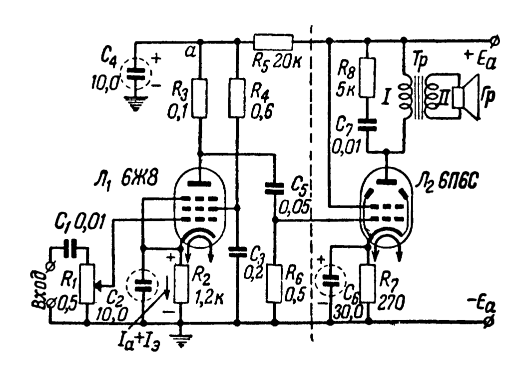
Фиг. 19. Эквивалентная схема усилителя НЧ (*а*) и зависимость коэффициента усиления каскада от соотношения между сопротивлением нагрузки $R_{a\sim}$ и внутренним сопротивлением лампы R_i (*б*).

коэффициент усиления каскада. Однако брать сопротивление R_a очень большим нецелесообразно, так как при этом на нем будет создаваться большое падение постоянного напряжения и придется применять источник анодного тока очень высокого напряжения. Кроме того, с увеличением сопротивления нагрузки коэффициент усиления быстро возрастает лишь до тех пор, пока $R_{a\sim}$ мало отличается от внутреннего сопротивления лампы (фиг. 19,*б*). Уже когда $R_{a\sim}$ составляет $3R_i$, коэффициент усиления каскада равен 0,75 μ. Поэтому обычно в случае применения триодов $R_{a\sim}$ выбирают в пределах $(2 \div 5)R_i$. В результате и коэффициент усиления получается достаточно большим и падение постоянного напряжения на сопротивлении R_a невелико.

Пентоды имеют очень большое внутреннее сопротивление, измеряемое мегомами. Вследствие этого для них сопротивление $R_{a\sim}$ приходится выбирать значительно ниже внутреннего сопротивления лампы — $(0,1 \div 0,3) R_i$. Однако, так как μ у этих ламп очень велико, даваемое каскадом усиление получается значительным и обычно превышает усиление каскада, работающего на триоде. Коэффициент усиления каскада, выполненного на пентоде, равен:

$$K = S \cdot R_{a\sim}.$$

Принципиальная схема. Принципиальная схема несложного двухлампового усилителя низкой частоты, который можно использовать в низкочастотной части приемника или



Фиг. 20. Принципиальная схема двухкаскадного усилителя НЧ.

для воспроизведения граммзаписи, приведена на фиг. 20. Его первый каскад, собранный на лампе 6Ж8 ($Л_1$), является усилителем напряжения, а второй, выполненный на лучевом тетроде 6П6С ($Л_2$), — усилителем мощности. На схеме первый каскад от второго отделен штриховой линией.

Коэффициент усиления усилителя и вносимые им нелинейные искажения в большой степени зависят от режима ламп, т. е. от постоянных напряжений на их аноде, экранной и управляющей сетках. В усилителе, схема которого приведена на фиг. 20, напряжение смещения U_{c0} на управляющую сетку лампы $Л_1$ снимается с сопротивления R_2, включенного в цепь ее катода. Напряжение на этом сопротивлении образуется потому, что по нему протекает посто-

янная составляющая анодного тока I_{a0} и тока экранной сетки $I_{э0}$. При этом конец сопротивления R_2, обращенный к катоду лампы, приобретает положительный потенциал, а противоположный конец — отрицательный. В результате катод относительно нижнего по схеме конца сопротивления R_2, а следовательно, и управляющей сетки, соединенной с ним через потенциометр R_1, имеет положительный потенциал, равный падению напряжения на R_2; это равносильно тому, что к сетке лампы приложено относительно катода такое же отрицательное напряжение.

Итак, на управляющую сетку лампы подается отрицательное смещение, снимаемое с сопротивления R_2. Необходимое для получения требуемой величины смещения сопротивление

$$R_2 = \frac{U_{c0}}{I_{a0} + I_{э0}}.$$

Так, например, если напряжение смещения должно быть равным — 1,5 *в*, анодный ток лампы $I_{a0} = 1$ *ма*, а ток экранной сетки $I_{э0} = 0{,}25$ *ма*, то

$$R_2 = \frac{1{,}5}{1 \cdot 10^{-3} + 0{,}25 \cdot 10^{-3}} = 1\,200 \text{ ом}.$$

Для того чтобы через это сопротивление не протекала переменная составляющая анодного тока лампы, оно шунтировано конденсатором C_2 большой емкости. Так как сопротивление конденсатора C_2 переменному току мало, то переменная составляющая анодного тока лампы свободно проходит через этот конденсатор, не создавая на нем заметного напряжения НЧ. Если бы конденсатора C_2 не было, то на сопротивлении R_2 возникло бы напряжение НЧ, которое также оказалось бы приложенным к управляющей сетке лампы. Вследствие того, что это напряжение противоположно по фазе напряжению, подаваемому на вход усилителя, результирующее низкочастотное напряжение на управляющей сетке лампы оказалось бы значительно уменьшенным. В результате понизился бы коэффициент усиления каскада.

Аналогично подается напряжение смещения и на управляющую сетку лампы оконечного каскада. Снимается оно с сопротивления R_7.

Напряжение на экранную сетку лампы $Л_1$ подается через гасящее сопротивление R_4. Падение напряжения на нем должно быть равно разности между анодным напряжением и суммой напряжений на экранной сетке $U_{э0}$ и напряжения смещения U_{c0}. Так как по сопротивлению R_4 протекает ток экранной сетки лампы $I_{э0}$, то

$$R_4 = \frac{E'_a - U_{э0} - U_{c0}}{I_{э0}}.$$

Анодным напряжением здесь следует считать напряжение E'_a в точке *a*, действующее после сопротивления R_5 развязывающего фильтра R_5C_4.

Допустим, что напряжение E'_a в точке *a* (фиг. 20) равно 200 *в*, а напряжение на экранной сетке составляет 50 *в* (часто встречающийся на практике режим работы), тогда

$$R_4 = \frac{200 - 50 - 1,5}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 600\,000 \text{ ом} = 600 \text{ ком}.$$

Развязывающий фильтр R_5C_4 служит для предотвращения паразитных связей через цепи питания, а также для дополнительного сглаживания пульсаций анодного напряжения, даваемого выпрямителем. Сопротивление фильтра выбирается таким, чтобы на нем терялось не более 15—30% напряжения источника тока. Емкость конденсатора C_4 составляет обычно 5—10 *мкф*. Часто эта цепь используется для повышения коэффициента усиления усилителя в области нижних звуковых частот. Чтобы получить такой подъем усиления, нужно соответствующим образом подобрать емкость конденсатора C_4.

Напряжение низкой частоты со входа усилителя через разделительный конденсатор C_1 подается на потенциометр R_1, являющийся регулятором громкости, и с него часть этого напряжения снимается на управляющую сетку лампы $Л_1$. Нагрузкой лампы $Л_1$ являются сопротивления R_3 и R_6, соединенные для переменной составляющей анодного тока параллельно (сопротивления конденсаторов C_4 и C_5, через которые сопротивление R_6 подключено параллельно сопротивлению R_4, для переменного тока очень малы).

Усиленное напряжение НЧ с анода лампы $Л_1$ через разделительный конденсатор C_5 поступает на управляющую

сетку лампы $Л_2$ усилителя мощности. От емкости этого конденсатора в большой степени зависит качество воспроизведения передачи в области нижних частот. Если емкость конденсатора C_5 мала, то на нижних частотах его сопротивление оказывается относительно большим, вследствие чего напряжение этих частот, подводимое к управляющей сетке лампы $Л_2$, оказывается малым и усилитель хуже усиливает нижние звуковые частоты. Обычно в усилителях радиовещательных приемников разделительный конденсатор имеет емкость 0,01—0,05 *мкф*.

Динамический громкоговоритель *Гр*, являющийся полезной нагрузкой для лампы $Л_2$, включен в ее анодную цепь через понижающий трансформатор *Тр*. Необходимость применения такого трансформатора вызывается следующим. Чтобы громкоговоритель хорошо воспроизводил не только нижние и средние, но и верхние звуковые частоты, его катушка должна иметь возможно меньшую индуктивность. Поэтому она обычно содержит немного витков и обладает небольшим сопротивлением. Следовательно, для хорошей работы громкоговорителя необходимо, чтобы ток, протекающий через его звуковую катушку, был достаточно велик.

Если звуковую катушку включить непосредственно в анодную цепь лампы $Л_2$, то из-за того, что сопротивление звуковой катушки току низкой частоты мало, на ней будет выделяться ничтожно малое напряжение. В результате коэффициент усиления, а также и коэффициент полезного действия каскада, окажутся ничтожно малыми. Кроме того, низкочастотная составляющая анодного тока лампы во много раз меньше тока, требуемого для нормальной работы громкоговорителя. Для того чтобы увеличить ток через звуковую катушку и лучше использовать оконечный каскад, и применяется понижающий трансформатор.

Несмотря на то, что выходной трансформатор является понижающим, в случае его применения напряжение на звуковой катушке получается во много раз бо́льшим, чем при непосредственном включении этой катушки в анодную цепь лампы. Объясняется это следующим. Лампа 6П6С, как и всякий оконечный пентод или лучевой тетрод, имеет сравнительно большое внутреннее сопротивление, измеряемое десятками тысяч ом. Сопротивление нагрузки $R_{a\sim}$, требуемое для нормальной работы такой лампы, обычно составляет несколько тысяч ом. Так как оно значительно

меньше внутреннего сопротивления лампы, напряжение на сопротивлении нагрузки изменяется почти прямо пропорционально изменению этого сопротивления. Трансформатор преобразовывает напряжение и сопротивление неодинаково: первое прямо пропорционально коэффициенту трансформации n, а второе пропорционально n^2. Например, если коэффициент трансформации n равен 50, то трансформатор изменяет напряжение в 50 раз, а сопротивление в 2 500 раз. Таким образом, в результате преобразования трансформатором сопротивление звуковой катушки громкоговорителя (измеренное между концами первичной обмотки) возрастает в нашем случае в 2 500 раз. Во столько же раз переменное напряжение между концами первичной обмотки превышает то напряжение, которое имело бы место на звуковой катушке, если бы она была включена непосредственно в анодную цепь лампы.

В свою очередь трансформатор понижает напряжение в 50 раз. Следовательно, напряжение на звуковой катушке будет в 50 раз меньше напряжения на первичной обмотке. Но так как переменное напряжение на аноде лампы возросло в 2 500 раз, то напряжение на звуковой катушке увеличилось в 2 500 : 50 = 50 раз по сравнению с напряжением, развиваемым на ней при непосредственном включении в анодную цепь лампы, т. е. в n раз. Во столько же раз увеличивается и ток, протекающий через звуковую катушку громкоговорителя.

Таким образом, в случае низкоомной нагрузки применение выходного трансформатора значительно повышает полезную мощность (примерно в n^2 раз), отдаваемую оконечным каскадом, а также улучшает использование этого каскада.

Так как звуковая катушка обладает некоторой индуктивностью, сопротивление между концами первичной обмотки выходного трансформатора, нагруженного громкоговорителем, для переменной составляющей анодного тока лампы довольно быстро возрастает с повышением частоты. В результате этого режим работы лампы оконечного каскада на верхних звуковых частотах изменяется, и в усилителе возникают частотные и нелинейные искажения. Чтобы предотвратить эти искажения, параллельно первичной обмотке трансформатора включена корректирующая цепь R_8C_7. С повышением частоты сопротивление корректирующей цепи уменьшается, вследствие чего результирующее

сопротивление нагрузки становится независимым от частоты. Если сделать сопротивление R_8 переменым, то, изменяя его величину, можно регулировать тембр передачи.

Мы рассмотрели, как работает усилитель, на примере двухкаскадного усилителя НЧ. Несмотря на то, что такой усилитель относится к числу простейших, приведенные сведения помогут разобраться в схеме и принципе действия сложных многокаскадных усилителей низкой частоты.

УСИЛИТЕЛИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Одним из основных качественных показателей усилителя высокой частоты является коэффициент усиления. Чем больше этот коэффициент, тем выше чувствительность приемника и он лучше принимает дальние станции. Так как приемники обычно рассчитывают на работу в широком диапазоне частот, то и усилитель ВЧ должен одинаково усиливать колебания всех частот, входящих в этот диапазон, в противном же случае чувствительность приемника по диапазону окажется неравномерной.

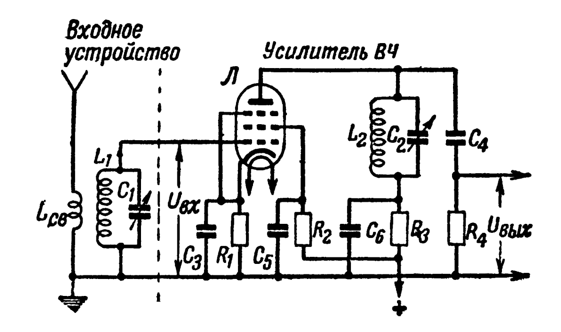
Для того чтобы можно было лучше отстроиться от мешающих радиостанций, желательно, чтобы усилитель, так же как и входная цепь, повышал напряжение сигнала лишь той радиостанции, на которую настроен приемник. Иначе говоря, он должен обладать избирательными свойствами. Поэтому в усилители ВЧ вводят колебательные контуры, настраиваемые вместе с входным контуром приемника на частоту принимаемой радиостанции.

Кроме того, одним из важнейших качественных показателей усилителя ВЧ является устойчивость его работы: при смене ламп или изменении питающих напряжений на 10—15% он не должен самовозбуждаться, а его усилительные свойства должны изменяться в очень небольших пределах.

В правой части фиг. 21 приведена схема одного из простейших усилителей ВЧ, в котором колебательный контур L_2C_2 включен непосредственно в анодную цепь лампы. В левой части этой фигуры, отделенной пунктирной линией, показано входное устройство. Его контур L_1C_1 включен в цепь управляющей сетки лампы усилителя.

Физическая сущность процессов, происходящих при усилении, заключается в следующем. Высокочастотное напряжение сигнала с колебательного контура L_1C_1 поступает в

цепь управляющей сетки лампы *Л*, вызывая увеличение анодного тока лампы при положительном полупериоде этого напряжения и уменьшение — при отрицательном. Таким образом, анодный ток лампы становится пульсирующим, причем его изменения около некоторого среднего значения соответствуют всем изменениям высокочастотного напряжения. Этот ток проходит через колебательный контур L_2C_2, включенный в анодную цепь лампы *Л*. Постоянная составляющая анодного тока лампы не создает заметного напряжения на контуре, так как сопротивление его катуш-



Фиг. 21. Принципиальная схема входного устройства (слева) и усилителя ВЧ с непосредственным включением контура в анодную цепь лампы.

ки постоянному току мало; переменная же составляющая, частота которой равна собственной частоте колебательного контура, создает на нем сравнительно большое напряжение ВЧ, так как для нее сопротивление контура L_2C_2 велико. Это напряжение через разделительный конденсатор C_4 поступает на управляющую сетку лампы следующего каскада приемника.

Токи частот, отличных от резонансной, не создадут на контуре сколь-либо значительное напряжение, потому что сопротивление контура для них невелико. Следовательно, рассмотренный усилитель ВЧ является избирательным, или, как его еще называют, резонансным.

Число, показывающее, во сколько раз напряжение полезного сигнала, поступающее с контура L_2C_2 в цепь управляющей сетки лампы следующего каскада, больше напряжения, подводимого к сетке лампы *Л* с входного контура

L_1C_1, называется коэффициентом усиления каскада. Коэффициент усиления одного каскада усилителя ВЧ, работающего в диапазоне средних и длинных волн, в зависимости от схемы усилителя, применяемых в нем ламп, режима их работы и качества примененных деталей обычно лежит в пределах от 20—30 до 100, а в диапазоне коротких волн — от 5 до 25—30.

Для устойчивой работы усилителя ВЧ необходимо, чтобы усиленное напряжение из анодной цепи его лампы не попадало каким-либо путем в цепь ее управляющей сетки, т. е. чтобы между этими цепями, как говорят, не существовало обратной связи. В усилителях ВЧ такая связь может возникнуть через емкость между анодом и управляющей сеткой лампы, называемую проходной $(C_{пр})$, или если магнитные силовые линии катушки L_2 пересекают витки катушек L_1 или $L_{св}$. Для сведения к минимуму обратной связи, возникающей через емкость $C_{пр}$, в усилителях ВЧ применяют, как правило, высокочастотные пентоды с очень малой проходной емкостью (6К3, 6К3П, 6К7, 6Ж1П и др.).

Усиление, даваемое усилителем ВЧ, в большой степени зависит от режима работы примененных в нем ламп, т. е. от напряжений на их аноде, экранной и управляющей сетках. Типовые режимы высокочастотных пентодов обычно приводятся в справочниках по радиолампам.

В усилителе, выполненном по схеме фиг. 21, напряжение смещения на управляющую сетку лампы подается с сопротивления R_1, шунтированного конденсатором C_3 емкостью 0,01—0,1 *мкф*. Через него протекает высокочастотная составляющая анодного тока лампы. Если конденсатора C_3 не будет, то, как и в усилителе НЧ, на сопротивлении R_1 возникнет переменное напряжение, которое окажется приложенным к управляющей сетке лампы *Л* и направленным навстречу напряжению сигнала, поступающего с колебательного контура L_1C_1. Вследствие этого результирующее высокочастотное напряжение на управляющей сетке лампы окажется значительно уменьшенным и коэффициент усиления каскада резко понизится.

Напряжение на экранную сетку лампы подается через сопротивление R_2. Для того чтобы экранная сетка не имела потенциала высокой частоты относительно катода, она че-

рез конденсатор C_5 емкостью в 0,01—0,1 *мкф* соединена с шасси.

Расчет сопротивлений в цепи катода и экранной сетки для усилителя ВЧ производится по тем же формулам, что и для усилителя НЧ.

Напряжение на анод лампы поступает через развязывающий фильтр R_3C_6, препятствующий проникновению переменной составляющей анодного тока в цепи питания и тем самым предотвращающий возможность возникновения через последние нежелательных связей между этим и остальными каскадами приемника. Чтобы не было большого падения постоянного напряжения на сопротивлении R_3, его выбирают обычно в пределах 1—1,5 *ком*. Емкость конденсатора C_6 должна составлять около 0,1—0,2 *мкф*.

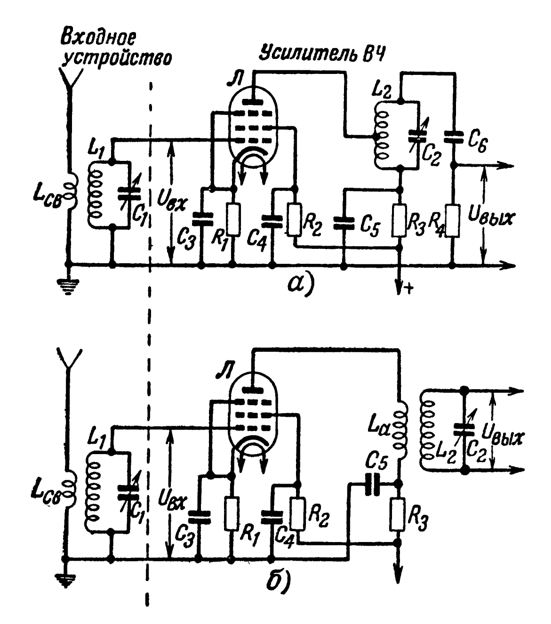
Разделительный конденсатор C_4 может иметь емкость порядка 100—300 *пф*. Через сопротивление R_4, равное 0,5—2 *мгом*, подается напряжение смещения на управляющую сетку лампы следующего каскада.

Усилитель ВЧ, собранный по схеме фиг. 21, по сравнению с усилителями, выполненными по другим схемам, дает наибольшее усиление. Однако он обладает следующими недостатками. Внутреннее сопротивление лампы шунтирует колебательный контур, а это несколько ухудшает его добротность, а следовательно, и избирательность. Кроме того, такой усилитель недостаточно устойчиво работает и его коэффициент усиления сильно изменяется по диапазону: к началу диапазона (верхняя частота) K возрастает, а к концу — уменьшается.

Если включить в анодную цепь лампы лишь часть витков контурной катушки L_2 (фиг. 22,*а*), то лампа будет значительно меньше шунтировать колебательный контур L_2C_2. Добротность контура и избирательность усилителя при этом возрастут, но усиление несколько уменьшится. Подключая анод лампы к тому или иному витку катушки L_2, можно найти такое положение, при котором усилитель дает достаточно большое усиление, обладает хорошей избирательностью и устойчиво работает. Обычно в анодную цепь лампы включается от 0,3 до 0,7 общего числа витков катушки L_2.

Коэффициент усиления усилителя, выполненного по схеме фиг. 22,*а*, изменяется при переходе от одного края диапазона к другому так же, как и у предыдущего.

Схема с индуктивной (трансформаторной) связью (фиг. 22,*б*) несколько сложнее предыдущих, но зато она может обеспечить более равномерное усиление по диапазону. Для этого индуктивность катушки связи L_a должна быть подобрана так, чтобы контур, состоящий из катушки L_a, ее собственной емкости, выходной емкости лампы *Л* и



Фиг. 22. Принципиальные схемы усилителей ВЧ.
а — с автотрансформаторной связью; *б* — с индуктивной связью.

емкости монтажа, был настроен на частоту, в 1,5—3 раза более низкую, чем низшая частота перекрываемого диапазона. При этом коэффициент усиления в отличие от других схем будет несколько уменьшаться к началу диапазона и возрастать к концу. Чтобы на длинноволновом диапазоне число витков катушки связи не было очень велико, параллельно ей иногда подключают конденсатор емкостью 20—50 *пф*.

Иногда в таком усилителе трансформаторную связь дополняют емкостной, соединив анод лампы *Л* через конденсатор емкостью 2—5 *пф* с колебательным контуром L_2C_2, т. е. осуществляют индуктивно-емкостную связь. Коэффи-

циент усиления такого усилителя получается практически неизменным в широком диапазоне частот.

Недостатком усилителя, у которого контур в анодной цепи лампы настроен на частоту более низкую, чем низшая частота перекрываемого диапазона, является несколько пониженное усиление.

Если число витков катушки L_a выбрать небольшим (примерно в 3—4 раза меньше числа витков катушки L_2 для длинноволнового диапазона, в 2—3 раза меньше для средневолнового диапазона, и в 1,5—2 раза меньше для коротковолнового), то такой усилитель будет давать значительно большее усиление, чем в рассмотренном выше случае, но его коэффициент усиления будет больше зависеть от частоты.

Схемы с трансформаторной связью получили широкое распространение в приемниках всех типов.

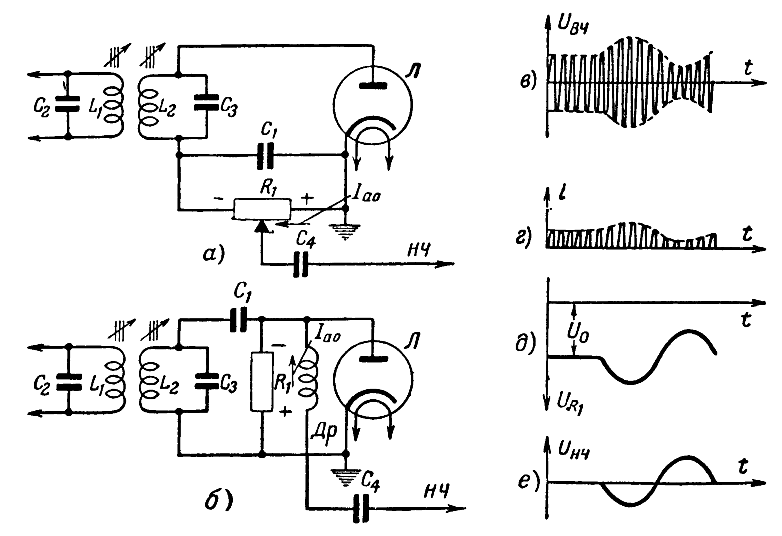
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

На выходе усилителя ВЧ получаются высокочастотные модулированные колебания, которые не могут непосредственно воздействовать на громкоговоритель или телефоны. Для преобразования этих колебаний в электрические колебания низкой частоты служит детектор. Естественно, что для неискаженного воспроизведения радиопередачи напряжение низкой частоты, получаемое на выходе детекторного каскада, должно иметь ту же частоту и такую же форму, какую имеет огибающая кривая приходящего сигнала (огибающая кривая модулированных колебаний показана пунктирной линией на фиг. 1,*б*).

Эффективность работы детекторного каскада определяется так называемым коэффициентом передачи напряжения $K_д$, представляющим собой отношение амплитуды низкочастотной составляющей напряжения $U_{нч}$ на выходе детектора к произведению амплитуды несущей частоты сигнала $U_{нес}$ на входе детектора на коэффициент глубины модуляции m, т. е. $K_д = U_{нч} : m \cdot U_{нес}$. Чем больше $K_д$, тем лучше при прочих равных условиях слышимость принимаемой радиостанции.

Различают диодное, сеточное, анодное и катодное детектирование. В приемниках, как правило, применяются диодное и сеточное детектирование. Поэтому мы остановимся только на них.

Диодное детектирование. Схемы простейших диодных детекторов изображены на фиг. 23,*а* и *б*. Напряжение высокой частоты $U_{вч}$ (фиг. 23,*в*) от контура L_2C_3 подводится к диоду *Л* через конденсатор C_1. Поскольку диод пропускает ток только от анода к катоду, ток через нагрузку диода R_1C_1 протекает лишь в одном направлении (оказывается выпрямленным) и только в те короткие промежутки



Фиг. 23. Схемы и графики диодных детекторов.

а — схема детектора с последовательно включенным сопротивлением нагрузки; *б* — с параллельно включенным сопротивлением нагрузки; *в* — напряжение ВЧ, подводимое к детекторной лампе; *г* — ток в цепи детектора; *д* — напряжение на сопротивлении нагрузки R_1; *е* — напряжение НЧ на выходе детектора.

времени, когда напряжение на аноде диода положительно. В результате анодный ток i диода представляет собой кратковременные импульсы (фиг. 23,*г*), величина которых пропорциональна амплитуде приходящих сигналов. Следовательно, огибающая эти импульсы кривая повторяет форму огибающей кривой модулированных колебаний.

Ток в виде кратковременных импульсов является сложным, состоящим из токов многих частот. В их число входит ток высокой частоты $U_{вч}$, токи высших гармоник этой частоты, постоянный ток I_{a0} (постоянная составляющая) и т. д. Токи высокой частоты проходят через конденсатор C_1, не создавая на нем заметного напряжения. Постоянная

составляющая выпрямленного тока протекает через сопротивление R_1 в направлении, показанном стрелками на фиг. 23,*а* и *б*, и создает на этом сопротивлении напряжение, положительный знак которого обращен к катоду лампы, а отрицательный — к аноду.

Так как величина импульсов выпрямленного тока изменяется по тому же закону, что и амплитуда модулированных колебаний, то аналогично изменяется и ток, протекающий через сопротивление R_1. Поэтому выпрямленное напряжение на сопротивлении R_1 колеблется со звуковой частотой вокруг некоторого среднего значения U_0 (фиг. 23,*д*). Таким образом, выпрямленное напряжение на сопротивлении R_1 состоит из постоянного напряжения U_0 и напряжения низкой частоты $U_{нч}$ (фиг. 23,*е*).

На фиг. 23,*д* напряжение отложено вниз по вертикальной оси вследствие того, что оно отсчитывается относительно заземленной точки сопротивления нагрузки R_1, имеющей положительный потенциал.

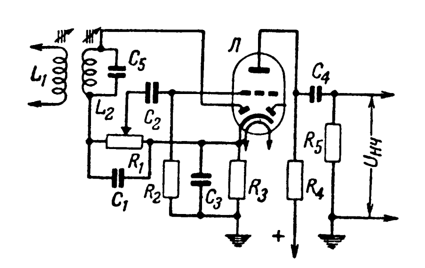
Постоянное напряжение U_0, изменяющееся пропорционально силе приходящего сигнала, часто используется для различных автоматических регулировок, а напряжение низкой частоты $U_{нч}$ через разделительный конденсатор C_4 поступает на вход усилителя низкой частоты приемника. Выполнив сопротивление R_1 в виде потенциометра, как показано на фиг. 23,*а*, можно в широких пределах изменять амплитуду напряжения низкой частоты на выходе детекторного каскада.

Сопротивление нагрузки диода R_1 в зависимости от высшей модулирующей частоты выбирается обычно в пределах от 0,25 до 1 *мгом*, а емкость конденсатора C_1 — в пределах от 100 до 250 *пф*. Чем выше максимальная частота модуляции, тем меньшим должно быть R_1. Поэтому в приемниках с широкой полосой пропускания (10—16 *кгц*), предназначенных для высококачественного воспроизведения передач, оно должно соответствовать меньшему пределу, а в приемниках, имеющих сравнительно узкую полосу пропускания, — большему. В приемниках со средней полосой пропускания (6—8 *кгц*) R_1 чаще всего выбирается равным 0,5 *мгом*.

Уменьшение значения R_1 ниже указанного предела значительно снижает входное сопротивление детектора и приводит к сильному шунтированию предшествующего контура, а увеличение — к «завалу» высоких частот, т. е. к по-

явлению частотных, а иногда и нелинейных искажений. Уменьшение емкости конденсатора C_1 вызывает ухудшение коэффициента передачи напряжения детектора, а повышение ее, как и в случае увеличения сопротивления R_1, — к появлению частотных и нелинейных искажений.

Качественные показатели детекторного каскада при диодном детектировании в большой степени зависят от уровня приходящего сигнала. Так, при слабых сигналах, когда эффективное значение напряжения несущей частоты, подводимого к детектору, составляет менее 0,1 *в*, детектирование сопровождается значительными нелинейными искажениями. С увеличением напряжения высокой частоты вносимые детектором нелинейные искажения уменьшаются уже для $U_{нес}$ = 0,6—1 *в* нелинейные искажения практически мало заметны. Однако, для того чтобы нелинейные искажения отсутствовали при глубокой модуляции, эффективное напряжение несущей частоты должно быть не меньше чем 1,5—2 *в*.



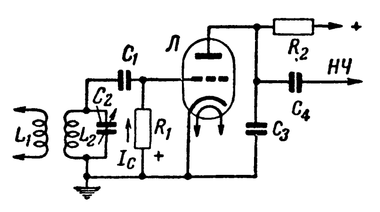
Фиг. 24. Схема детектора и предварительного усилителя низкой частоты, выполненных на двойном диод-триоде 6Г2С.

Из сказанного можно сделать вывод, что диодное детектирование целесообразно применять в сложных приемниках, в которых приходящий сигнал предварительно значительно усиливается, а также в приемниках, предназначенных для приема местных радиостанций.

Чтобы уменьшить число ламп в приемнике, часто диод, предназначенный для детектирования, размещают в одном баллоне с лампой, служащей для усиления колебаний высокой или низкой частоты. На фиг. 24 приведена схема детекторного каскада, объединенного с каскадом усиления НЧ. Здесь детектор смонтирован по схеме фиг. 23,*а*. Для того чтобы на анод диода не поступало отрицательное напряжение, образующееся на сопротивлении R_3, цепь R_1C_1 подключена не к шасси приемника, а непосредственно к катоду лампы. Напряжение низкой частоты снимается с потенциометра R_1 и подается на сетку лампы через раздели-

тельный конденсатор C_2. Остальная часть схемы ничем не отличается от схемы обычного каскада усиления НЧ.

Сеточное детектирование. Принципиальная схема сеточного детектора приведена на фиг. 25. К управляющей сетке лампы *Л* через конденсатор C_1 с колебательного контура L_2C_2 подводится напряжение высокой частоты. Участок управляющая сетка — катод лампы выполняет роль детектора, нагрузкой которого являются сопротивление утечки сетки R_1 и конденсатор C_1. При положительных полупериодах высокочастотного напряжения на сетке через участок сетка — катод проходят импульсы тока. Постоянная составляющая сеточного тока, протекая через сопротивление R_1 в направлении, указанном на фиг. 25 стрелкой, создает на нем напряжение, отрицательный знак которого приложен к управляющей сетке. Так как амплитуда подводимого высокочастотного напряжения изменяется со звуковой частотой в обе стороны от некоторого среднего значения $U_{нес}$, то соответственно со звуковой частотой изменяется и напряжение на управляющей сетке лампы. Следовательно, кроме высокочастотного напряжения на управляющей сетке лампы, действует еще постоянное напряжение, создающее на ней отрицательное смещение, и напряжение НЧ.



Фиг. 25. Принципиальная схема сеточного детектора.

Высокочастотное и низкочастотное напряжения, управляя анодным током лампы, заставляют его одновременно изменяться около некоторого среднего значения так же, как изменяются подводимые переменные напряжения. Поэтому анодный ток, кроме постоянной составляющей и составляющей ВЧ, содержит также и низкочастотную составляющую. Последняя, проходя через сопротивление R_2, создает на нем, как и в обычном усилителе НЧ, напряжение низкой частоты. Это напряжение через конденсатор C_4 поступает на управляющую сетку лампы усилителя НЧ приемника. Конденсатор C_3 служит для того, чтобы пропустить к катоду лампы высокочастотную составляющую анодного тока.

Итак, при сеточном детектировании детектирование в цепи сетки сочетается с усилением в цепи анода, благодаря

чему коэффициент передачи такого детектора получается значительно больше единицы и носит название коэффициента усиления. Поэтому сеточное детектирование широко применяется в малоламповых радиоприемниках.

Сопротивление R_1 обычно выбирают в пределах от 0,5 до 1,5 *мгом*. При слишком малом R_1 на нем выделяется небольшое напряжение, в результате чего усиление детекторного каскада сравнительно невелико. Кроме того, цепь сетки детекторной лампы сильно шунтирует контур L_2C_2, вследствие чего его избирательность значительно понижается.

Сопротивление анодной нагрузки R_2 выбирается в пределах от 50 до 300 *ком*, причем нижний предел соответствует применению в качестве детекторной лампы триода, а верхний — пентода или лучевого тетрода.

Качественные показатели сеточного детектора, так же как и диодного, во многом зависят от уровня подводимого высокочастотного напряжения. Когда уровень сигнала не превышает 0,1 *в*, прием сопровождается заметными нелинейными искажениями. С увеличением уровня сигнала усиление каскада возрастает и вносимые искажения уменьшаются. Неискаженное детектирование и максимальный коэффициент усиления получаются, когда эффективное напряжение несущей частоты лежит в пределах примерно от 0,5 до 2 *в*. Дальнейшее повышение этого напряжения снова приводит к появлению значительных нелинейных искажений. Таким образом, существенным недостатком сеточного детектора является ограниченность линейного участка его характеристики.

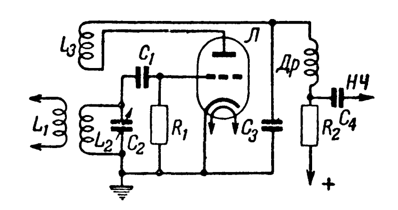
РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПРИЕМ

Введя в детекторный каскад положительную обратную связь [1], можно осуществить регенеративный прием. Применение положительной обратной связи позволяет без особых затрат и усложнений значительно повысить чувствительность и избирательность приемника. Одна из возможных схем детекторного каскада с положительной обратной связью изображена на фиг. 26. Здесь L_2C_2 — контур входной цепи или последнего каскада усилителя ВЧ, с которого напряже-

[1] Положительной называется такая обратная связь, при которой напряжение, подаваемое с выхода устройства на его вход, находится в фазе с напряжением, подводимым ко входу от источника сигнала.

ние подается на управляющую сетку детекторной лампы *Л*; L_3 — катушка обратной связи, индуктивно связанная с контурной катушкой L_2; сопротивления и конденсаторы R_1, R_2, C_1, C_3 и C_4 — обычные элементы сеточного детектора. Дроссель *Др* служит для того, чтобы предотвратить возможность влияния входа усилителя НЧ на работу детекторного каскада, а также чтобы не пропустить к усилителю НЧ высокочастотную составляющую анодного тока лампы *Л* (этот дроссель можно заменить сопротивлением в 10—20 *ком*).

Принцип действия регенеративного детектора состоит в следующем. С контура L_2C_2 к управляющей сетке лампы подводится высокочастотное напряжение принимаемого сигнала. Высокочастотная составляющая анодного тока лампы, проходя через катушку обратной связи L_3, индуктирует в катушке L_2 некоторую дополнительную э. д. с. При соответствующем включении концов катушек L_2 и L_3 эта э. д. с. складывается с имеющейся в катушке начальной э. д. с. сигнала, в результате чего общий уровень высокочастотного напряжения на контуре возрастает, а следовательно, увеличивается и переменное напряжение высокой частоты на управляющей сетке детекторной лампы. Это равноценно получению некоторого добавочного усиления.



Фиг. 26. Принципиальная схема детекторного каскада с положительной обратной связью, регулируемой изменением взаимного расположения катушек L_2 и L_3.

Вследствие того, что в регенеративном каскаде часть энергии усиленных колебаний передается из анодной цепи лампы в сеточную, в той или иной степени компенсируются потери энергии, имеющие место в активном сопротивлении колебательного контура L_2C_2. Если обратную связь установить достаточно сильной, то потери в контуре компенсируются полностью, и в детекторном каскаде возникнут собственные незатухающие колебания высокой частоты. Другими словами, мы получим маломощный генератор высокочастотных колебаний. При более слабой связи, когда потери компенсируются лишь частично, собственные колебания не возникают. Однако частичная компенсация потерь

эквивалентна как бы некоторому уменьшению активного сопротивления контура и, следовательно, повышению его добротности. Последнее и является причиной значительного улучшения избирательности и повышения чувствительности приемника при наличии в нем положительной обратной связи.

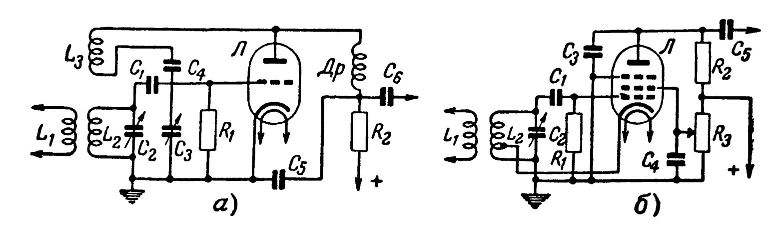
Усиление, даваемое регенеративным каскадом, зависит от силы приходящего сигнала. Чем меньше амплитуда высокочастотного напряжения, подводимого к управляющей сетке детекторной лампы, тем большее усиление дает каскад и, наоборот, с увеличением амплитуды приходящего сигнала коэффициент усиления каскада падает. Благодаря этому в приемнике, содержащем регенеративный детектор, в известной степени осуществляется автоматическая регулировка усиления.

Чувствительность и избирательность приемника оказываются наилучшими, когда обратная связь установлена у самого порога возникновения колебаний. Поэтому, чтобы реализовать все преимущества, которые может дать применение положительной обратной связи, регенеративный каскад следует тщательно наладить, добиваясь такого режима, при котором колебания возникают мягко. Их амплитуда с увеличением обратной связи плавно нарастает, а с уменьшением так же плавно убывает, достигая нуля при такой же обратной связи, при какой колебания возникают. Такого режима самовозбуждения добиваются экспериментально, подбирая при налаживании приемника анодное напряжение, данные цепи обратной связи, емкость и сопротивление в цепи сетки лампы. Число витков катушки обратной связи L_3 для длинноволнового и средневолнового диапазонов составляют обычно 15—25% числа витков контурной катушки L_2, а для коротковолновых — 30—70%.

Обратная связь получается положительной только при определенном включении концов катушки L_3. Так, если контурная катушка и катушка обратной связи намотаны в одном направлении, т. е. одна катушка является как бы продолжением другой, то начало катушки обратной связи подключают к аноду лампы, а конец — к положительному полюсу источника анодного напряжения; начало контурной катушки — к катоду лампы, а конец — к управляющей сетке. Если контурная катушка и катушка обратной связи намотаны в противоположные стороны, то меняется порядок включения концов катушки обратной связи.

Обратную связь можно регулировать изменением взаимного расположения катушек (фиг. 26), при помощи конденсатора переменной емкости (C_3 на фиг. 27,*а*), изменением питающих напряжений (фиг. 27,*б*) и другими способами.

Схема с подвижной катушкой применяется редко, так как в ней трудно осуществлять плавную регулировку; кроме того, изменение положения подвижной катушки заметно влияет на настройку приемника. Более распространена регулировка обратной связи при помощи конденсатора переменной емкости (фиг. 27,*а*), в которой эти недостатки выражены слабее; здесь с увеличением емкости конденсатора C_3 обратная связь увеличивается, а с уменьшением — уменьшается.



Фиг. 27. Схемы регулировки обратной связи.
а — при помощи конденсатора переменной емкости, *б* — изменением напряжения на экранной сетке лампы.

Регулировка обратной связи изменением питающих напряжений дает еще лучшие результаты. В этом случае при увеличении или уменьшении напряжения соответственно изменяется амплитуда переменной составляющей анодного тока лампы, а следовательно, и напряжения, наводимого в контуре под действием положительной обратной связи.

В схеме фиг. 27,*б* регулировка осуществляется изменением напряжения на экранной сетке лампы *Л*. Здесь в качестве катушки обратной связи обычно используется часть витков (нижняя по схеме) контурной катушки L_2. Такую схему называют схемой с катодной связью или схемой с заземленным (по высокой частоте) анодом. Высокочастотная составляющая анодного тока лампы, проходя по этой части витков катушки, создает в контуре переменное напряжение.

Отвод от катушки к катоду лампы делается для длинноволнового диапазона примерно от одной шестой части ее

витков, для средневолнового — от одной четвертой и для коротковолнового — от одной трети, считая от конца катушки, соединяемого с шасси.

ТРЕХЛАМПОВЫЙ ПРИЕМНИК ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

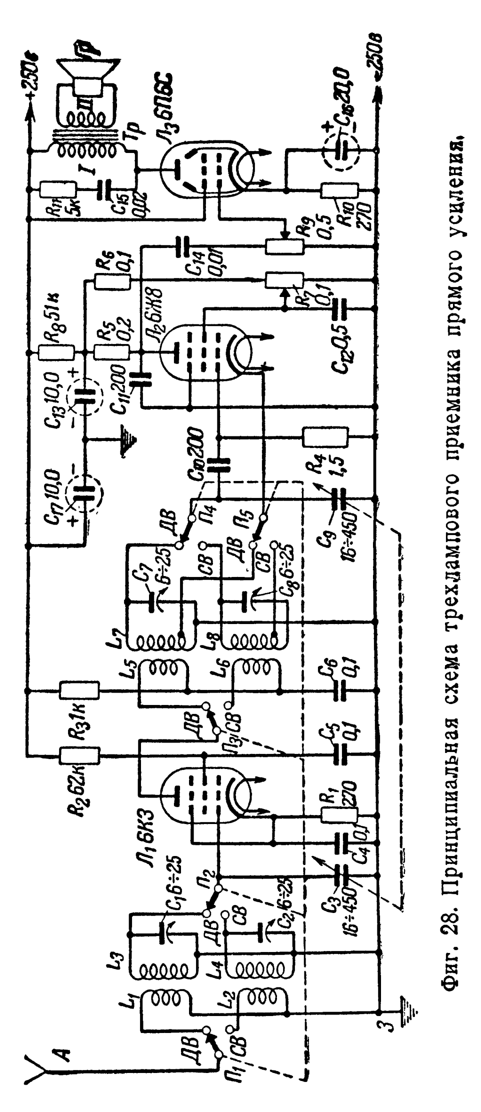
Принципиальная схема двухдиапазонного трехлампового приемника прямого усиления приведена на фиг. 28. Приемник имеет входное устройство, каскад усиления ВЧ, детекторный каскад с регулируемой обратной связью и каскад усиления НЧ. Антенна связана с входным контуром индуктивно при помощи катушек связи L_1 или L_2, которые переключаются переключателем $П_1$.

Входной контур настраивается на частоту принимаемой радиостанции посредством конденсатора переменной емкости C_3. Подстроечные конденсаторы C_1 и C_2 служат для выравнивания начальных емкостей контуров входного устройства и анодных контуров усилителя ВЧ, которое необходимо для осуществления одноручечной настройки.

Усилитель ВЧ выполнен на лампе $Л_1$ типа 6К3. Усиленное напряжение высокой частоты при работе на длинноволновом диапазоне выделяется на колебательном контуре $L_7C_7C_9$, а при работе на средневолновом — на колебательном контуре $L_8C_8C_9$. Связь контура с лампой — индуктивная. Переход с одного диапазона на другой осуществляется одновременным переключением катушек входного устройства и усилителя ВЧ, производимым переключателями $П_1$, $П_2$, $П_3$, $П_4$ и $П_5$, управляемыми одной ручкой.

Отрицательное смещение на управляющую сетку лампы $Л_1$ снимается с сопротивления R_1, а напряжение на экранную сетку подается через сопротивление R_2. Цепь, состоящая из сопротивления R_3 и конденсатора C_6, является развязывающим фильтром.

Детекторный каскад работает в режиме сеточного детектирования на пентоде $Л_2$ типа 6Ж8. Обратная связь осуществляется по схеме с катодной связью; катод лампы $Л_2$ посредством переключателя диапазонов $П_5$ подключается к части витков контурной катушки соответствующего диапазона. Регулировка обратной связи производится изменением напряжения на экранной сетке лампы при помощи потенциометра R_7. Для получения более плавной регулировки последовательно с сопротивлением R_7 включено сопротивление R_6, на котором теряется примерно 50% анод-



Фиг. 28. Принципиальная схема трехлампового приемника прямого усиления.

ного напряжения. R_8C_{13} — развязывающий фильтр; одновременно он сглаживает пульсацию анодного напряжения, подводимого от выпрямителя к детекторному каскаду. Напряжение НЧ, снимаемое с сопротивления R_5, через кон-

денсатор C_{14} поступает на регулятор громкости — потенциометр R_9, а с него — на управляющую сетку лампы $Л_3$ типа 6П6С усилителя НЧ. В анодную цепь этой лампы через выходной трансформатор *Тр* включен динамический громкоговоритель *Гр*. Цепь, состоящая из сопротивления R_{11} и конденсатора C_{15}, является корректирующей.

Контурные катушки L_3, L_4, L_7 и L_8 приемника — трехсекционные и размещаются на отдельных каркасах. Они наматываются внавал между четырьмя кольцами внешним диаметром 45 *мм* и толщиной 2 *мм*, надетыми на цилиндрический каркас диаметром 20 *мм* и высотой 50 *мм*. Ширина каждой секции — 3 *мм*, расстояние между секциями — 2 *мм*. Катушки связи L_1, L_2, L_5 и L_6 — односекционные. Они наматываются между двумя кольцами с внешним диаметром 40 *мм* на тех же каркасах, что и контурные катушки, и отстоят от последних на расстоянии 5 *мм*. Ширина этих катушек составляет 5 *мм*. Каркасы и кольца можно склеить из прессшпана, выточить из органического стекла, эбонита или изготовить из какого-либо другого изоляционного материала.

Катушка L_1 содержит 600 витков провода ПЭЛ-1 0,12; L_3 — 372 витка ПЭЛ-1 0,25 (три секции по 124 витка каждая); L_2 — 220 витков ПЭЛ-1 0,12; L_4 — 108 витков (3 $\times$ $\times$ 36) провода ПЭЛ-1 0,35; L_5 — 150 витков ПЭЛ-1 0,12; L_7 — 372 витка ПЭЛ-1 0,25 и имеет отвод от 70-го витка, считая от конца катушки, соединяемого с шасси; L_6 — 60 витков ПЭЛ-1 0,12; L_8 — 108 витков ПЭЛ-1 0,35 и имеет отвод от 40-го витка.

Переключатель диапазонов — двухплатный на три положения. Между его платами следует установить экран — перегородку из алюминия толщиной 1 *мм*.

Выпрямитель для приемника может быть любой конструкции. Он должен давать напряжение порядка 200—250 *в* при токе около 40—50 *ма*. В нем можно использовать стандартный силовой трансформатор типа ЭЛС-2.

СУПЕРГЕТЕРОДИННЫЕ ПРИЕМНИКИ

В настоящее время супергетеродинные приемники значительно более распространены, чем приемники прямого усиления. По супергетеродинным схемам строится подавляющее большинство радиовещательных приемников всех

классов, телевизоров, а также различных специальных приемных устройств.

Одним из основных недостатков приемников прямого усиления является низкая избирательность. Как известно, избирательность приемника определяется числом содержащихся в нем колебательных контуров, их качеством и точностью настройки на принимаемую радиостанцию. Постройка приемника прямого усиления с высокой избирательностью сопряжена с большими трудностями: с увеличением числа настраиваемых контуров резко усложняются конструкция и регулировка приемника, возрастают его размеры, вес и стоимость.

Наиболее сильно недостатки схемы прямого усиления проявляются у приемников с коротковолновыми диапазонами. Причина этого кроется в быстром понижении избирательности контуров и уменьшении коэффициента усиления усилителя ВЧ с повышением частоты подводимых колебаний. В результате всеволновые приемники прямого усиления на коротковолновых диапазонах обладают плохой избирательностью и малой чувствительностью.

Наконец, в приемнике прямого усиления трудно получить одновременно хорошую избирательность и достаточно широкую полосу пропускания высокочастотного тракта. Чем лучше избирательность приемника, тем более узкую полосу частот он пропускает и тем больше вносит частотных искажений.

Супергетеродинные приемники свободны от перечисленных выше недостатков.

ПРИНЦИП СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМА

В отличие от приемников прямого усиления, в которых усиление сигналов до детектора производится на частоте принимаемой радиостанции, в супергетеродине частота колебаний каждого принимаемого сигнала предварительно *преобразовывается* в колебания другой постоянной для данного приемника высокой частоты, называемой *промежуточной*. На этой частоте и осуществляется основное усиление напряжения сигнала. Кроме того, усилитель промежуточной частоты (ПЧ), обладая резонансными свойствами, обеспечивает необходимую избирательность. За усилителем ПЧ в супергетеродине, как и в приемнике пря-

мого усиления после каскадов усиления ВЧ, следуют детектор и усилитель НЧ.

То, что в супергетеродине частота любой принимаемой радиостанции преобразуется в одну и ту же промежуточную частоту, дает возможность, применить в его усилителе ПЧ колебательные контуры с фиксированной настройкой. Это позволяет построить несложный многокаскадный усилитель промежуточной частоты, содержащий большое число колебательных контуров и имеющий резонансную характеристику П-образной формы, т. е. обладающий высокой избирательностью и вносящий малые частотные искажения.

Особенно ощутимы преимущества супергетеродинных приемников на коротких и ультракоротких волнах. Так как для этих диапазонов промежуточная частота во много раз ниже частоты сигнала, то усиление и избирательность, даваемые одним каскадом усилителя ПЧ, в несколько раз выше, чем даваемые на этих диапазонах каскадом усилителя ВЧ. Наличие в супергетеродинах большого запаса усиления позволяет осуществить в них различные автоматические регулировки.

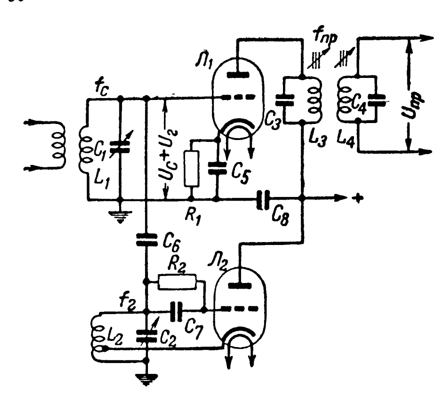
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ

Преобразование частоты в супергетеродине осуществляется в преобразовательном каскаде. Для получения неискаженного приема этот каскад должен преобразовывать модулированное напряжение высокой частоты приходящих сигналов в напряжение промежуточной частоты без изменения вида и характера модуляции. Например, если напряжение приходящего сигнала промодулировано по амплитуде, то преобразованное напряжение также должно быть модулированным по амплитуде, причем для того, чтобы воспроизведение передачи не сопровождалось нелинейными искажениями, форма огибающей кривой напряжения на выходе преобразователя должна точно соответствовать форме огибающей кривой подводимого сигнала.

Преобразование частоты осуществляется посредством специальной смесительной лампы, к которой подводятся приходящие модулированные колебания и постоянные по амплитуде колебания другой высокой частоты, создаваемые в самом приемнике.

Упрощенная схема преобразователя частоты приведена на фиг. 29. На управляющую сетку смесительной лампы

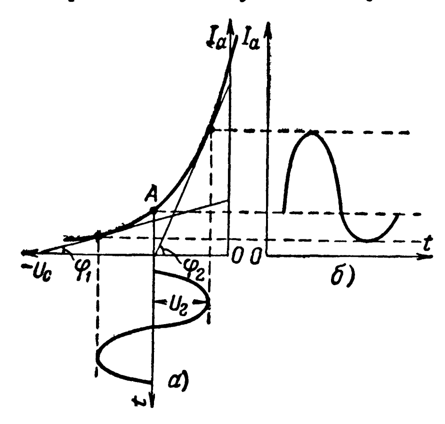
$Л_1$ поступают два высокочастотных напряжения: приходящего сигнала U_c, которое снимается с колебательного контура L_1C_1, настраиваемого на частоту f_c принимаемой радиостанции, и напряжение $U_г$ от местного гетеродина, смонтированного на лампе $Л_2$. Гетеродин представляет собой маломощный ламповый генератор колебаний высокой частоты ($f_г$) и по принципу действия мало отличается от рассмотренного нами ранее регенеративного каскада, работающего в режиме незатухающих колебаний. Напряжение смещения U_{c0} на сетке смесительной лампы, образующееся на сопротивлении R_1, выбрано таким, что рабочая точка находится на нижнем сгибе анодной характеристики, вследствие чего эта лампа работает в режиме анодного детектирования (поэтому преобразователь частоты супергетеродина нередко называют первым детектором). В результате такого выбора положения рабочей точки на характеристике лампы $Л_1$ ее действующая крутизна в процессе работы изменяется с изменением напряжения смещения. Когда модулированный сигнал отсутствует, напряжение смещения изменяется только с частотой колебаний, создаваемых гетеродином; с этой же частотой изменяется и крутизна характеристики лампы, возрастая с уменьшением напряжения смещения и уменьшаясь с увеличением его (фиг. 30).



Фиг. 29. Упрощенная схема преобразователя частоты.

Посмотрим, что происходит, когда на сетку смесительной лампы одновременно подаются напряжения сигнала и гетеродина. Для удобства рассуждений будем считать, что частота первого выше частоты второго, а амплитуда сигнала постоянна. Кроме того, для упрощения не будем учитывать высшие гармоники анодного тока смесительной лампы, не играющие существенной роли в процессе преобразования частоты.

На фиг. 31 показан характер изменения анодного тока лампы. Под воздействием приходящего сигнала во время положительного полупериода напряжения, поступающего от гетеродина, амплитуда переменной составляющей анодного тока, имеющей частоту сигнала, получается большей, чем во время отрицательного. Кроме того, в первом случае с нарастанием $U_г$ амплитуда переменной составляющей частоты сигнала возрастает, а во втором — убывает. В результате она изменяется с частотой колебаний, поступающих от гетеродина, т. е. оказывается промодулированной этими колебаниями. Объясняется это тем, что с изменением напряжения $U_г$ изменяется крутизна характеристики лампы.



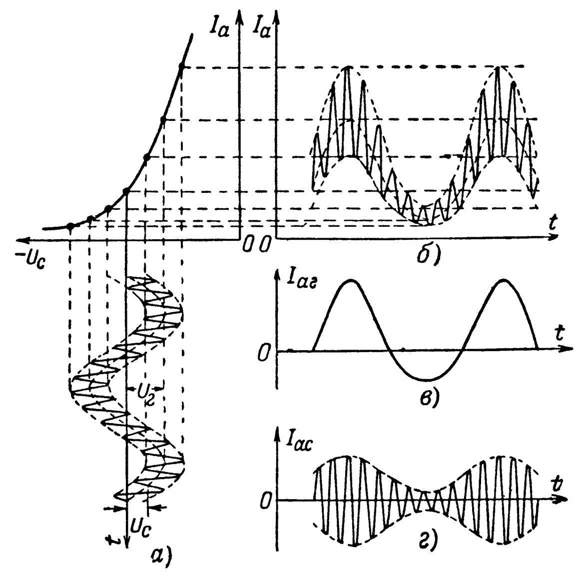
Фиг. 30. Анодная характеристика лампы. Крутизна характеристики, характеризуемая углом φ между касательной к кривой и горизонтальной осью, зависит от напряжения смещения.

Модулированные колебания являются сложными, состоящими из колебаний ряда частот. В простейшем случае, когда колебания модулированы одной частотой, они слагаются из колебаний трех частот: основной (несущей) частоты, разности основной и модулирующей частот и их суммы. Таким образом, в состав полученных нами модулированных колебаний (фиг. 32,*а*) входят колебания частоты сигнала f_c (фиг. 32,*б*), разности частоты сигнала и частоты гетеродина $f_c - f_г$ (фиг. 32,*в*), а также их суммы $f_c + f_г$ (фиг. 32,*г*). Если приходящие сигналы промодулированы, то все эти составляющие также промодулированы.

Из получившихся высокочастотных колебаний интерес представляют только колебания разностной частоты $f_c - f_г$, так как колебания суммарной частоты всегда выше, чем частота сигнала, и использование их не даст положительных результатов. Колебания разностной частоты выде-

ляются фильтром $C_3L_3L_4C_4$, настроенным на эту частоту (фиг. 29).

Итак, на вход преобразователя подано напряжение одной частоты, а на его выходе получено напряжение другой частоты, т. е. произошло преобразование частоты приходящих сигналов. Необходимым условием этого явилось периодическое изменение крутизны характеристики смесительной лампы под воздействием напряжения, подводимого от гетеродина. Для преобразования частоты

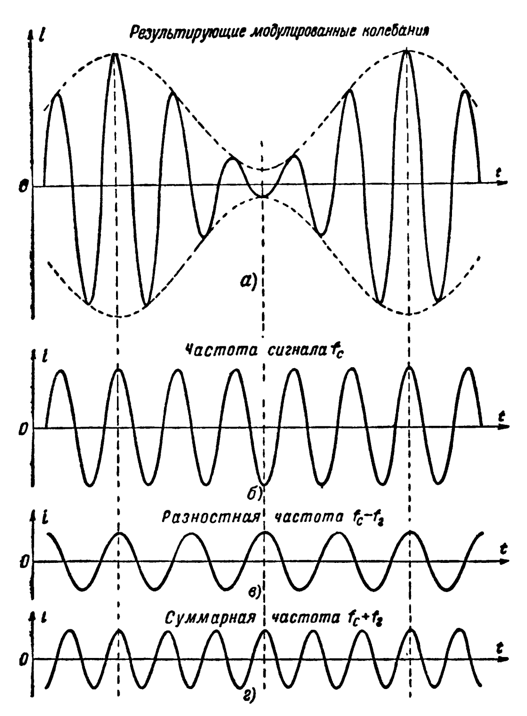


Фиг. 31. Графики, иллюстрирующие процесс преобразования частоты. а — анодная характеристика лампы; б — зависимость анодного тока от напряжений U_c и $U_г$; в — составляющая анодного тока частоты гетеродина; г — составляющая анодного тока частоты сигнала (колебания приходящего сигнала промодулированы колебаниями гетеродина).

принципиально не имеет значения, выше ли частота гетеродина $f_г$ частоты приходящего сигнала f_c или ниже, важно лишь чтобы разность между ними была равна требуемой промежуточной частоте.

Рассматривая процесс преобразования частоты, мы останавливались лишь на колебаниях основных частот. Вследствие нелинейности характеристики лампы в ее анодной цепи, кроме упомянутых выше частот, образуются еще ко-

лебания более высоких частот — гармоник частот сигнала и гетеродина, а также высшие комбинационные частоты. Все эти частоты отсеиваются фильтром, включенным в анодную цепь смесительной лампы.



Фиг. 32. Колебания, модулированные одной частотой, слагаются из колебаний трех частот: основной частоты сигнала f_c, разности основной и модулирующей частот $f_c - f_г$, а также из их суммы $f_c + f_г$.

Преобразователь частоты обладает и усилительными свойствами. Даваемое им усиление определяется как отношение напряжения промежуточной частоты на его выходе к напряжению сигнала, подводимого к управляющей сетке смесительной лампы. Величина этого усиления зависит от параметров смесительной лампы, качества фильтра ПЧ, а также амплитуды напряжения, подводимого от гетеродина. Коэффициент усиления $K_{пр}$ преобразователя частоты, содержащего двухконтурный полосовой фильтр с критиче-

ской связью между контурами, можно подсчитать по формуле

$$K_{пр} = 0{,}5S_{пр} \cdot Z_{рез},$$

где $S_{пр}$ — крутизна преобразования смесительной лампы;

$Z_{рез}$ — резонансное сопротивление контуров фильтра.

Крутизна преобразования представляет собой отношение приращения составляющей анодного тока $\Delta I_{пр}$ промежуточной частоты к приращению напряжения сигнала $\Delta U_{с}$. Она не является строго определенной для данной лампы и зависит от режима ее работы, в частности, от амплитуды колебаний, подводимых от гетеродина. При определенной амплитуде этих колебаний $S_{пр}$ достигает наибольшей величины. Это наибольшее значение $S_{пр}$ обычно и приводится в паспорте смесительных и преобразовательных ламп.

ОСОБЕННОСТИ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМА

Прием на супергетеродин может иногда сопровождаться помехами, характерными только для приемников этого типа. Допустим, например, что приемник, промежуточная частота $f_{пр}$ которого равна 460 *кгц*, настроен на радиостанцию, работающую на частоте $f_{с} = 5\,000$ *кгц*, и что частота колебаний его гетеродина выбрана выше частоты приходящего сигнала, т. е. $f_{г} = 5\,000 + 460 = 5\,460$ *кгц*. Предположим теперь, что на частоте $f_{п} = 5\,920$ *кгц* работает еще какая-то радиостанция. Сигналы этой радиостанции вместе с частотой гетеродина также образуют промежуточную частоту и, если не принять специальных мер, создадут помехи приему основной радиостанции. Действительно, $f_{п} - f_{г} = 5\,920 - 5\,460 = 460$ *кгц*, т. е. равно $f_{пр}$.

Таким образом, характерной особенностью супергетеродина является то, что, кроме основной радиостанции, на волну которой настроен приемник, на том же делении шкалы можно услышать и другую радиостанцию, частота которой на удвоенную промежуточную частоту отличается от частоты принимаемой радиостанции. Эти радиостанции, симметричные по частоте к основной радиостанции относительно частоты гетеродина, принято называть **симметричными** или **зеркальными**.

Второй особенностью супергетеродинного приема является то, что одну и ту же радиостанцию можно принять при двух различных настройках приемника. Объясняется это следующим. Для того чтобы при перестройке супергетеродина с одной волны на другую промежуточная частота получалась все время одинаковой, необходимо изменять частоту колебаний, создаваемых гетеродином, сохраняя постоянной разность между нею и частотой, указываемой стрелкой на шкале приемника. Предположим, что на приемник, взятый в предыдущем примере, принята радиостанция, работающая на частоте $f_c = 3\,460$ *кгц*; при этом $f_г = 3\,460 + 460 = 3\,920$ *кгц*. Настроим приемник на частоту $f_з = 2\,540$ *кгц*. Посмотрим, как теперь он будет реагировать на принимавшуюся ранее станцию. При новой настройке частота гетеродина $f_г = f_з + f_{пр} = 2\,540 + 460 = 3\,000$ *кгц*, т. е. снова на промежуточную частоту $f_{пр} = 460$ *кгц* ($3\,460 - 3\,000 = 460$) отличается от частоты принятой ранее радиостанции; разница заключается лишь в том, что теперь частота гетеродина ниже частоты сигнала. Как и в первом случае, при этой настройке образуется промежуточная частота, равная 460 *кгц*, вследствие чего упомянутая выше радиостанция будет слышна. Таким образом, одна и та же радиостанция слышна при настройке приемника на частоту 3 460 *кгц*, на которой она работает, и при настройке на частоту 2 540 *кгц*, на которой эта радиостанция не работает. Первая из этих настроек называется основной, а вторая — зеркальной.

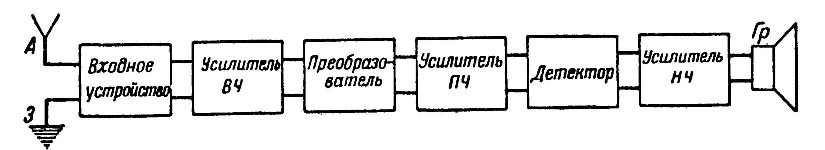
Кроме зеркальных радиостанций, помехи могут также создавать местные или мощные дальние радиостанции, работающие на промежуточной или близкой к ней частоте. Эти помехи, прослушиваемые в виде интерференционных свистов, возникают вследствие биений между колебаниями промежуточной частоты, получившейся в приемнике, и сигналами радиостанции, работающей на промежуточной частоте, проникшими к усилителю ПЧ без преобразования.

СКЕЛЕТНАЯ СХЕМА СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА

Чтобы устранить упомянутые выше помехи, необходимо до минимума понизить уровень напряжения, создаваемого ими на управляющей сетке смесительной лампы. Эту задачу в супергетеродине выполняет входное устройство, назы-

ваемое часто преселектором (предварительный селектор). Обычно оно представляет собой колебательный контур или систему связанных колебательных контуров, настраиваемых на частоту принимаемой радиостанции. Кроме того, эти помехи ослабляются в каскадах усиления ВЧ приемника, также содержащих настраиваемые колебательные контуры. Наконец, специально для ослабления помех, создаваемых радиостанциями, работающими на частотах, близких к промежуточной, на входе приемника устанавливают фильтр-пробку, настроенный на промежуточную частоту.

Исключить зеркальную настройку можно, объединив ручки настройки контуров преселектора и каскадов усиления ВЧ с ручкой управления частотой гетеродина. В этом



Фиг. 33. Скелетная схема супергетеродинного приемника.

случае при зеркальной настройке на радиостанцию сигналы, поступающие от нее, будут настолько ослаблены входным устройством приемника, что она не будет прослушиваться.

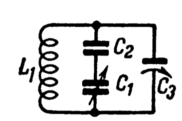
Так как основное усиление в супергетеродине осуществляется усилителем ПЧ, может показаться, что в таком приемнике нет необходимости иметь усилитель ВЧ. Однако это не так. Преобразователь частоты создает большой уровень шумов, сравнимый с уровнем сигнала от дальних радиостанций, вследствие чего прием таких станций получается очень плохим. Чтобы поднять уровень сигнала над уровнем собственных шумов преобразователя частоты, в приемнике нужно иметь один-два каскада усиления ВЧ.

Таким образом, высокочувствительный супергетеродинный приемник должен содержать входное устройство, усилитель ВЧ, преобразователь частоты, усилитель ПЧ, детектор и усилитель НЧ (фиг. 33). Кроме того, в супергетеродине обычно применяют оптический индикатор настройки и осуществляют автоматическую регулировку усиления (АРУ).

Супергетеродинные приемники невысокой чувствительности можно выполнить без каскадов усиления ВЧ.

СОПРЯЖЕНИЕ НАСТРОЕК КОНТУРОВ СУПЕРГЕТЕРОДИНА

Итак, в супергетеродине частота колебаний гетеродина должна на промежуточную частоту отличаться от резонансной частоты входных контуров и контуров усилителя ВЧ. Поэтому перечисленные выше контуры и контур гетеродина настраиваются на разные частоты и имеют неодинаковый коэффициент перекрытия по частоте. Так, например, при работе приемника в диапазоне частот от 150 до 420 *кгц* (длинные волны) и промежуточной частоте $f_{пр} = 460$ *кгц* контур гетеродина должен настраиваться на частоты от 610 до 880 *кгц* (частоту гетеродина здесь нельзя выбрать ниже частоты сигнала, так как промежуточная частота больше любой из частот данного диапазона). Отсюда коэффициент перекрытия для входных контуров составляет: $K_{вх} = f_{макс} : f_{мин} = 420 : 150 = 2{,}8$, а для контура гетеродина $K_г = 880 : 610 = 1{,}45$, т. е. значительно меньше. Следовательно, перекрытие по емкости конденсаторов контуров, настраиваемых на частоту сигнала, и контура гетеродина также должно быть неодинаковым.



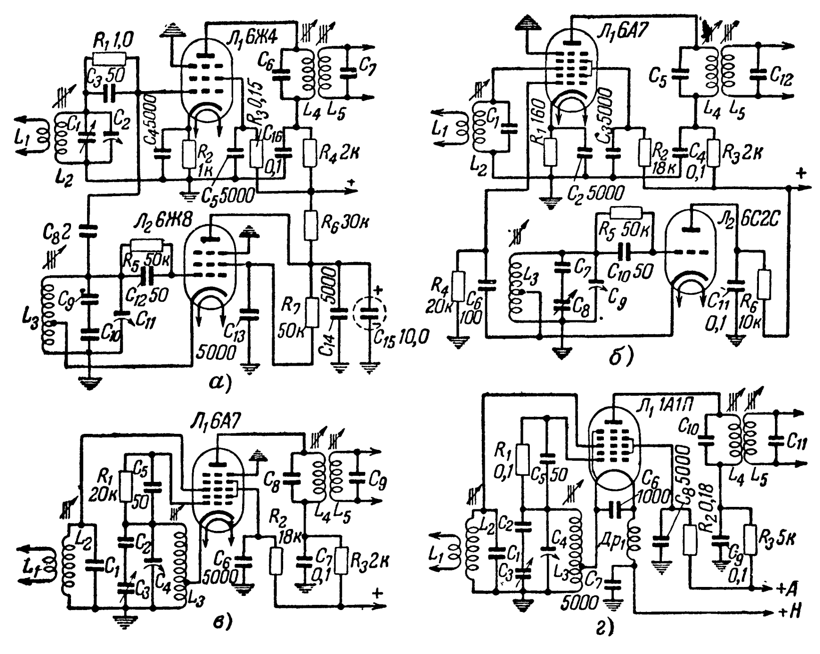
Фиг. 34. Схема включения сопрягающих конденсаторов в контур гетеродина.

Для разных диапазонов приемника требуется различный коэффициент перекрытия по частоте контура гетеродина. Поэтому для него невозможно изготовить конденсатор переменной емкости, одинаково пригодный для всех диапазонов. Практически в супергетеродине применяют агрегат с одинаковыми конденсаторами, а требуемое уменьшение перекрытия гетеродинного конденсатора для каждого диапазона получают при помощи специальных сопрягающих конденсаторов, включенных, как показано на фиг. 34. Конденсатор C_2, соединенный последовательно с конденсатором C_1, уменьшает максимальную емкость контура, а конденсатор C_3 увеличивает его начальную емкость. В ре-результате коэффициент перекрытия контура по частоте уменьшается. Такой способ дает точное сопряжение или, иначе говоря, требуемую разность между частотой гетеродина и резонансной частотой контуров, настраиваемых на частоту сигнала в трех точках каждого диапазона — близкой к его началу, середине и концу. В остальных точках не-

точность сопряжения получается настолько незначительной, что практически приемник имеет одинаковую чувствительность и избирательность по зеркальному каналу в пределах всего диапазона.

СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

На фиг. 35,*а* приведена практическая схема рассмотренного ранее преобразователя частоты. Так как напряжения сигнала и гетеродина подаются здесь на одну и ту же сетку



Фиг. 35. Практические схемы преобразователей частоты.

лампы, такой преобразователь называют односеточным. Достоинство его состоит в том, что он обладает малым уровнем собственных шумов. Однако при низкой промежуточной частоте (практически ниже 1 000 *кгц*) настройка входного контура сказывается на частоте колебаний, генерируемых гетеродином, а также наблюдается явление захватывания: приходящие сигналы, воздействуя на гетеро-

дин, изменяют частоту генерируемых им колебаний. Это вызывает нестабильность работы приемника: частота гетеродина непроизвольно изменяется и приемник оказывается расстроенным относительно принимаемой радиостанции и слышимость ее резко ухудшается. В связи с этим такой преобразователь частоты применяется только в коротковолновых и ультракоротковолновых приемниках, имеющих повышенную промежуточную частоту. Назначение сопротивления R_1 и конденсатора C_3 — предупредить появление значительных сеточных токов и связанное с этим резкое уменьшение входного сопротивления смесительной лампы в тех случаях, когда амплитуда напряжения, поступающего от гетеродина, оказывается большей, чем напряжение смещения.

Поскольку основным фактором для осуществления преобразования частоты является изменение крутизны анодной характеристики лампы с частотой гетеродина, колебания от последнего можно подвести к любой сетке лампы, изменение напряжения на которой вызывает соответствующее изменение крутизны. На фиг. 35,*б* приведена схема преобразователя частоты, собранного на специальной преобразовательной лампе 6А7; здесь напряжение от гетеродина подается на первую сетку лампы, а напряжение сигнала — на третью. Вследствие того, что эти напряжения подаются на разные сетки и что эти сетки разделены экранной сеткой (второй по счету), входная цепь на частоту колебаний гетеродина здесь практически не влияет даже при сравнительно низкой промежуточной частоте. В этом случае рабочую точку выбирают на линейном участке характеристики лампы.

Чтобы уменьшить число ламп в радиовещательных приемниках, часто в качестве смесителя и гетеродина используют одну многоэлектродную лампу. Схема такого преобразователя частоты, выполненного на лампе 6А7, приведена на фиг. 35,*в*. Такой преобразователь частоты работает менее стабильно, чем собранный по схеме фиг. 35,*б*, однако его стабильность вполне достаточна для радиовещательных приемников второго и даже первого класса.

На фиг. 35,*г* дана схема преобразователя частоты, собранного на специальной батарейной преобразовательной лампе 1А1П. Отличается она от схемы фиг. 35,*в* лишь тем, что здесь в цепь накала включен дроссель высокой часто-

ты $Др_1$, предотвращающий замыкание накоротко по высокой частоте нижней по схеме части катушки контура гетеродина.

УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

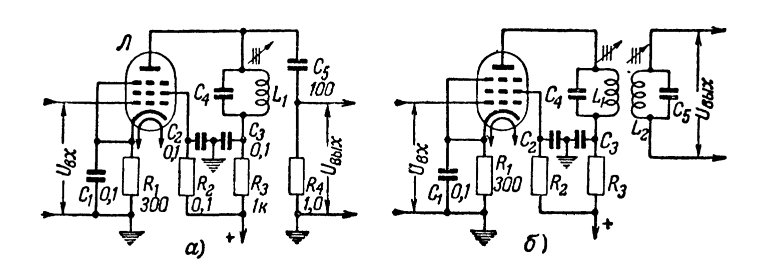
Параметры усилителя промежуточной частоты во многом определяют качественные показатели супергетеродинного приемника; его чувствительность, избирательность по соседнему каналу, полосу пропускания, а следовательно, и связанную с нею естественность воспроизведения принимаемой передачи. Наконец, от коэффициента усиления усилителя ПЧ и числа содержащихся в нем ламп в большой степени зависит эффективность действия системы АРУ приемника. Чем больше коэффициент усиления усилителя ПЧ, тем выше чувствительность супергетеродина и тем лучше работает в нем система АРУ. Расширение полосы пропускания повышает качество воспроизведения принимаемой передачи, а увеличение крутизны спада кривой частотной характеристики и приближение ее формы к П-образной улучшает избирательность приемника по соседнему каналу.

Постройка усилителя ПЧ, обладающего очень хорошими показателями по всем параметрам, связана с большими трудностями и затратами. Поэтому обычно стараются найти какое-то компромиссное решение, при котором усилитель обладает достаточно хорошими параметрами и в то же время не слишком сложен и дорог. Практические требования, предъявляемые к усилителю ПЧ, определяются данными, которым должен отвечать проектируемый приемник. Так, например, в дешевых приемниках третьего и второго классов делают однокаскадный усилитель ПЧ с постоянной полосой пропускания, в приемниках первого класса — двухкаскадный с переменной полосой пропускания а в специальных связных приемниках — многокаскадный усилитель ПЧ, полосу пропускания которого можно менять в широких пределах.

Возможность изменения полосы пропускания приемника значительно повышает его эксплуатационные качества. В тех случаях, когда прием передачи сопровождается помехами от соседних по частоте радиостанций, в таком приемнике можно сузить полосу пропускания усилителя ПЧ, и, таким образом, резко повысив избирательность прием-

ника, полностью устранить или значительно ослабить помехи. Правда, при этом качество воспроизведения несколько ухудшится, но в целом передача будет восприниматься значительно лучше, так как она не будет сопровождаться интерференционными свистами, гудением и хрипами. При приеме передач местных и мощных дальних радиостанций, обычно не сопровождающимся помехами, полосу пропускания усилителя ПЧ можно расширить и таким путем повысить качество воспроизведения передачи.

В качестве простейшего усилителя ПЧ можно использовать обычный резонансный усилитель высокой частоты, содержащий в каждом каскаде одиночный колебательный



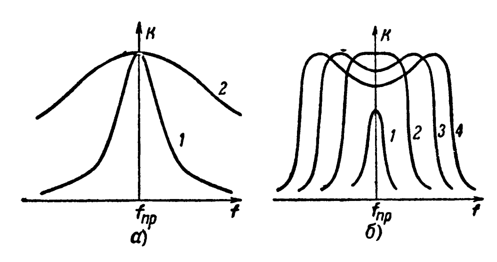
Фиг. 36. Принципиальные схемы каскада усиления промежуточной частоты.

а — с одиночным контуром; *б* — с двухконтурным полосовым фильтром.

контур (фиг. 36,*а*). Достоинством такого усилителя является то, что он прост по конструкции и по сравнению с другими типами усилителей обладает наибольшим коэффициентом усиления. Однако ему присущ весьма существенный недостаток: он не может одновременно обладать высокой избирательностью и пропускать достаточно широкую полосу частот, необходимую для высококачественного воспроизведения радиопередач. Так, например, если для получения хорошей избирательности применить в нем контуры с высокой добротностью, то усилитель будет пропускать очень узкую полосу частот (кривая *1* на фиг. 37,*а*) и воспроизведение передачи будет сопровождаться частотными искажениями. Расширить полосу пропускания можно, шунтируя контуры сопротивлениями. Однако при этом резко ухудшится избирательность усилителя (кривая *2* на фиг. 37,*а*). Поэтому в супергетеродинах в качестве усили-

телей ПЧ обычно применяют полосовые усилители, которым несвойственны указанные выше недостатки.

Отличительной особенностью полосового усилителя является то, что в нем применяется не одиночный колебательный контур, а полосовой фильтр, представляющий собой систему из двух или более связанных друг с другом резонансных контуров (фиг. 36,*б*). В результате введения дополнительных контуров свойства усилителя сильно изменяются. На фиг. 37,*б* приведены частотные характеристики усилителя с двухконтурным полосовым фильтром, получающиеся при различной связи между контурами. При слабой



Фиг. 37. Частотные характеристики усилителей ПЧ.
а — с одиночным контуром; *б* — с двухконтурным полосовым фильтром.

связи между контурами (кривая *1*) частотная характеристика полосового усилителя сходна с частотной характеристикой резонансного усилителя, имеющего одиночный контур, но несколько острее ее. Коэффициент усиления в этом случае получается небольшим, так как вследствие слабой связи индуктированная во втором контуре (L_2C_5) э. д. с. получается небольшой.

С увеличением связи между контурами, которое можно осуществить, например, сближая катушки L_1 и L_2, коэффициент усиления возрастает. При некоторой определенной связи, называемой критической, коэффициент усиления перестает увеличиваться и достигает половины коэффициента усиления каскада с одиночным колебательным контуром (при условии, если параметры контуров этих усилителей одинаковы):

$$K = 0{,}5S \cdot Z_{рез},$$

где S — крутизна характеристики лампы, а $Z_{рез}$ — резонансное сопротивление контура.

Полоса пропускания фильтра при критической связи между контурами получается более широкой, чем при слабой, и частотная характеристика принимает вид кривой *2* на фиг. 37,*б*. Она отличается от частотной характеристики усилителя с одиночным контуром тем, что ее вершина приплюснута.

При дальнейшем сближении катушек (увеличении связи) коэффициент усиления усилителя больше не возрастает, но зато верх частотной характеристики раздваивается и она становится двугорбой с провалом в середине. Чем сильнее связь между контурами, тем дальше по частоте раздвигаются горбы кривой и тем больше глубина провала.

Итак, с увеличением связи между контурами фильтра полоса пропускания полосового усилителя расширяется. Однако в отличие от усилителя с одиночным колебательным контуром здесь с расширением полосы пропускания крутизна спадов частотной характеристики не уменьшается, а остается постоянной, т. е. избирательность усилителя с расширением полосы не уменьшается.

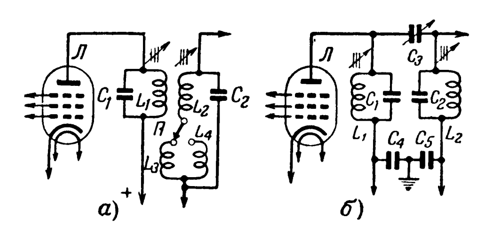
Таким образом, основным достоинством полосового усилителя является то, что форма его резонансной кривой приближается к прямоугольной. Благодаря этому такой усилитель одинаково хорошо усиливает не только одну частоту $f_{пр}$, а определенную полосу частот, причем за пределами этой полосы усиление резко падает. Это дает возможность получить высокую избирательность по соседнему каналу и малые частотные искажения.

Выбор ширины полосы пропускания, которую принято отсчитывать на уровне 0,7 от максимального усиления $K_{макс}$, всецело зависит от назначения усилителя. Так, в приемниках, предназначенных для высококачественного приема радиовещательных станций, ширина полосы выбирается в пределах от 8 до 15 *кгц*; в приемниках, предназначенных для приема дальних радиостанций, для ослабления воздействия всевозможных помех полосу сужают до 6—7 *кгц*, наконец, для приема телеграфных радиостанций наивыгоднейшей является полоса в 200—400 *гц*.

Для усилителей с однотипными двухконтурными полосовыми фильтрами наивыгоднейшей является такая характеристика, у которой провал доходит до 0,7 максимального усиления. При этом усилитель обладает высокой избирательностью и вносит очень небольшие частотные искаже-

ния. Если при такой форме частотной характеристики полоса пропускания усилителя получается шире или уже требуемой, то для сужения или расширения полосы пропускания необходимо соответственно повысить или понизить добротность контуров фильтра.

Однако в промышленных радиовещательных приемниках чаще всего выбирают связь близкой к критической, при которой частотная характеристика имеет форму кривой 2 на фиг. 37,*б*. Объясняется это тем, что для получения наилучшей частотной характеристики во многих случаях требуются контуры высокой добротности, что удорожает фильтры. Кроме того, при массовом производстве радиоприемной



Фиг. 38. Способы регулировки полосы пропускания.
а — посредством вспомогательной катушки связи; *б* — изменением емкости конденсатора связи.

аппаратуры приходится считаться с тем, что настройка и регулировка фильтров с двугорбой частотной характеристикой более трудоемки, чем настройка при частотной характеристике с одним максимумом.

Как уже упоминалось ранее в высококачественных приемниках полосу пропускания делают регулируемой. Плавно изменять полосу пропускания можно, перемещая одну из катушек каждого или части полосовых фильтров усилителя ПЧ. При сближении катушек вследствие увеличения связи между ними полоса пропускания расширяется, а при удалении вследствие уменьшения связи — сужается. Однако, поскольку сделать одну из катушек подвижной конструктивно довольно трудно, полосу пропускания чаще всего изменяют ступенями. Для этого фильтр дополняют катушкой связи (L_3 на фиг. 38,*а*), имеющей 5—10 витков такого же провода, что и основные контурные катушки. Эту катушку располагают около катушки L_1. При включении катушки L_3 последовательно с катушкой L_2 связь между контурами фильтра возрастает и полоса пропускания расширяется.

Катушка L_4 служит для компенсации изменения общей индуктивности контура L_2C_2, происходящего при отключении катушки L_3. Число витков ее должно быть таким же, как у катушки L_3. Располагается она возле катушки L_2.

На фиг. 38,*б* приведена схема усилителя с емкостной связью между контурами полосового фильтра. В таком усилителе полосу пропускания можно плавно регулировать в широких пределах, меняя связь между контурами при помощи небольшого конденсатора переменной емкости C_3, имеющего максимальную емкость 30—50 *пф*.

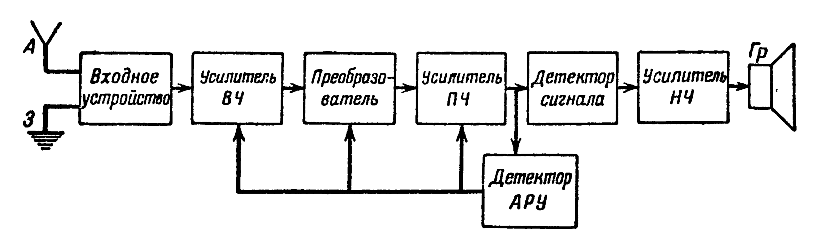
АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ

Напряжения, поступающие на вход приемника, при приеме различных радиостанций значительно отличаются друг от друга. Кроме того, при приеме коротковолновых радиостанций уровень сигнала непрерывно изменяется в сотни и даже тысячи раз. Вследствие этого, если не принять специальных мер, громкость приема при переходе с одной радиостанции на другую и во время приема любой коротковолновой станции будет непрерывно меняться. Последнее затрудняет прослушивание передачи и, кроме того, нередко приводит к значительной перегрузке приемника и связанным с нею нелинейным искажениям. Для устранения этого явления в супергетеродинных приемниках применяют автоматическую регулировку усиления (АРУ), основной задачей которой является поддержание постоянства напряжения на выходе приемника при значительном изменении силы приходящего сигнала.

Для того чтобы напряжение НЧ на выходе приемника оставалось неизменным при колебаниях уровня приходящего сигнала, необходимо, чтобы с изменением уровня сигнала автоматически менялось усиление, даваемое высокочастотными каскадами приемника. При этом коэффициент усиления должен уменьшаться, когда уровень сигнала возрастает, и увеличиваться с уменьшением уровня приходящего сигнала.

Рассматривая работу преобразовательного каскада и усилителя промежуточной частоты, мы уже видели, что даваемое ими усиление зависит от крутизны характеристики работающей в них лампы. Чем выше крутизна, тем бо́льшим получается коэффициент усиления каскада, чем она меньше, тем меньше этот коэффициент. Нашей промыш-

ленностью выпускаются специальные высокочастотные пентоды (например, типа 6К7, 6К3, 6К1П и др) и преобразовательные лампы (6А7, 6А1П), крутизна характеристики которых не постоянна, а зависит от величины отрицательного напряжения на их управляющей сетке: чем больше отрицательное смещение на сетке, тем меньше крутизна характеристики лампы в рабочей точке. Если установить в усилителях высокой и промежуточной частоты приемника, а также в его преобразователе частоты такие лампы, то коэффициент усиления этих каскадов, а следовательно, и всей высокочастотной части приемника можно регулировать, изменяя напряжение смещения на управляющих сетках этих ламп.



Фиг. 39. Скелетная схема приемника с АРУ.

В приемнике пропорционально уровню приходящего сигнала изменяется постоянная составляющая U_0 напряжения на выходе детектора. Следовательно, ее и можно использовать для автоматической регулировки усиления.

Скелетная схема приемника с АРУ приведена на фиг. 39. Здесь выпрямленное специальным детектором напряжение сигнала через фильтр поступает к первым каскадам приемника, где подается в виде дополнительного отрицательного смещения на управляющие сетки усилительных ламп. Так как лампы, применяемые в регулируемых каскадах, имеют переменную крутизну характеристики, то подаваемое на их сетки выпрямленное детектором и пропорциональное силе сигнала напряжение автоматически изменяет даваемое ими усиление. Так, например, при возрастании уровня сигнала на входе приемника усиление последнего снижается настолько, что уровень сигнала на его выходе остается почти неизменным.

Существует несколько различных схем АРУ. Простейшая схема автоматической регулировки усиления, так на-

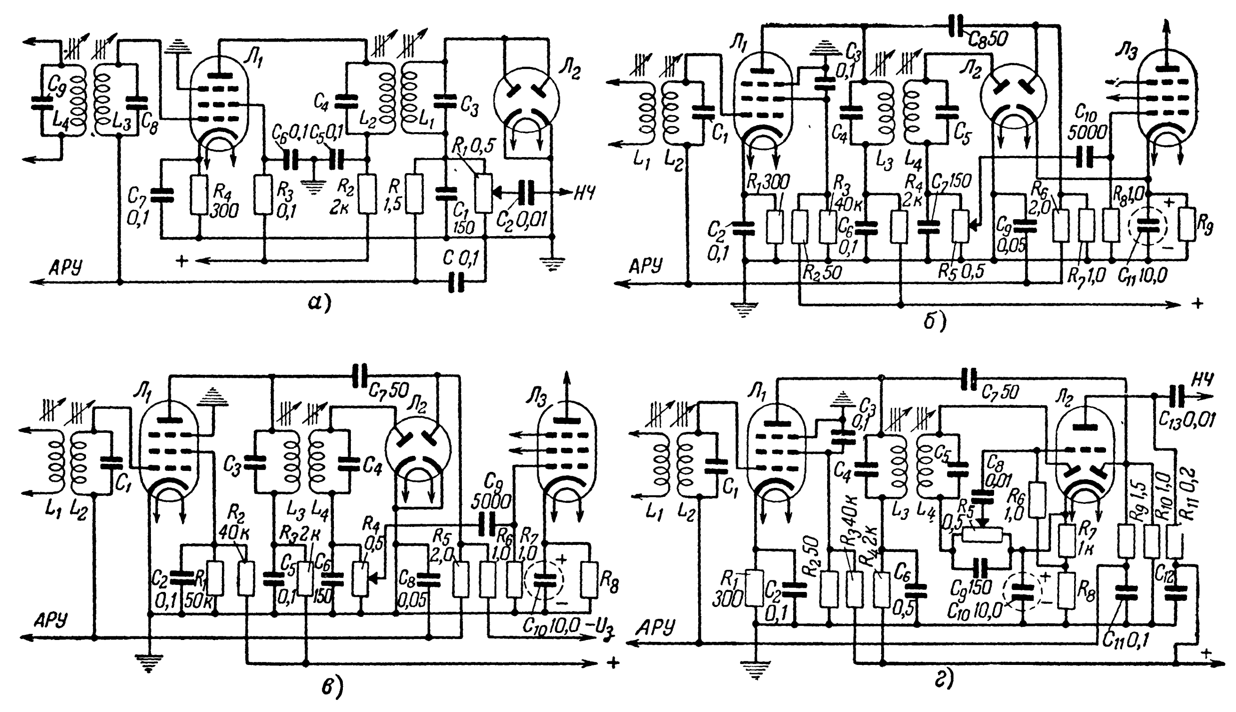
зываемая АРУ без задержки, изображена на фиг. 40,*а*. Здесь для целей автоматической регулировки используется основной детектор приемника, с нагрузки которого напряжение низкой частоты через конденсатор C_2 поступает на вход усилителя НЧ. Выпрямленное детектором напряжение сигнала через фильтр, состоящий из сопротивления R и конденсатора C и препятствующий проникновению низкочастотного напряжения к регулируемым каскадам, поступает к управляющим сеткам усилительных ламп приемника.

Данные элементов фильтрующей цепи RC выбираются так, чтобы сопротивление R во много раз превышало сопротивление конденсатора C переменному току низкой частоты. Тогда почти все переменное напряжение падает на сопротивление R и только незначительная часть его попадает на сетки ламп. При недостаточной фильтрации регулирующее напряжение содержит низкочастотную составляющую. В результате этого при нарастании амплитуды сигнала в процессе модуляции отрицательное напряжение на сетках регулируемых ламп увеличивается, а коэффициент усиления регулируемых каскадов падает. При уменьшении амплитуды сигнала регулирующее напряжение будет уменьшаться, а коэффициент усиления — возрастать. Это приведет к тому, что бóльшие амплитуды сигнала будут усилены слабее, чем меньшие. В результате этого произойдет уменьшение коэффициента модуляции сигнала.

Однако, если сделать сопротивление R и емкость C слишком большими, то, хотя фильтрация и получится хорошей, автоматическая регулировка не будет поспевать за быстрыми изменениями уровня сигнала. Объясняется это тем, что конденсатор не будет успевать заряжаться и разряжаться при изменении регулирующего напряжения.

Наилучшие результаты получаются, когда произведение RC лежит в пределах $0{,}05 \div 0{,}2$ ($R \cdot C = 0{,}05 \div 0{,}2$), где R — в мегомах и C — в микрофарадах. Практически сопротивление R выбирают в пределах 0,5—2 *мгом*, а емкость конденсатора C — порядка 0,05—0,1 *мкф*.

Существенным недостатком рассмотренной схемы является то, что система регулировки усиления действует в ней даже при очень слабых сигналах. Вследствие этого при приеме слабо слышимых радиостанций, когда чувствительность приемника должна быть максимальной, она оказывается заметно пониженной из-за действия системы АРУ. Лучшие результаты дают схемы автоматической регулиров-



Фиг. 40. Схемы АРУ.

а — без задержки; *б*, *в* и *г* — с задержкой.

ки усиления с задержкой, в которых система АРУ начинает действовать лишь в том случае, когда напряжение сигнала превышает определенный уровень.

На фиг. 40,*б* приведена схема АРУ с задержкой, в которой применен двойной диод $Л_2$ типа 6Х6С. Левый по схеме диод лампы $Л_2$ служит детектором приемника, а правый — отдельным выпрямителем для системы АРУ. Для того чтобы оба контура полосового фильтра были нагружены диодами одинаково, правый диод лампы $Л_2$ подключен не ко второму контуру фильтра ПЧ, а к первому. В противном случае его частотная характеристика окажется несимметричной.

Нагрузкой детектора АРУ является сопротивление R_7. Снимаемое с него выпрямленное напряжение через сопротивление фильтра R_6 поступает к управляющим сеткам регулируемых ламп. На катод правого по схеме диода подается некоторое положительное напряжение задержки, снимаемое с сопротивления R_9 в цепи катода лампы усилителя НЧ. Вследствие этого анод диода имеет отрицательный потенциал относительно его катода. Пока напряжение сигнала, подводимого к диоду, не превышает напряжения задержки, напряжение на аноде этого диода остается отрицательным, вследствие чего последний оказывается запертым и система АРУ не работает. Только тогда, когда напряжение сигнала на диоде превышает напряжение задержки, диод открывается и проходящий через сопротивление R_7 выпрямленный ток создает на нем регулирующее напряжение. Таким образом, при слабых сигналах чувствительность приемника, в котором применена эта схема, не понижается.

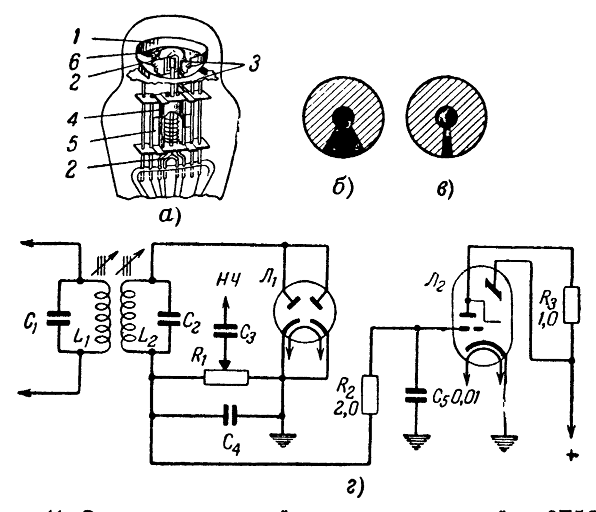
В том случае, когда напряжение задержки, требуемое для нормальной работы системы АРУ, равно напряжению смещения, подаваемому на сетки управляемых ламп, можно использовать схему, изображенную на фиг. 40,*в*. По принципу действия эта система ничем не отличается от предыдущей. Поскольку при такой схеме к детектору системы АРУ подводится «минус» задерживающего напряжения, который одновременно поступает также и на управляющие сетки регулируемых ламп, здесь отпадает необходимость в подаче на последние отдельного напряжения смещения.

На фиг. 40,*г* приведена схема второго детектора, АРУ с задержкой и предварительного усилителя НЧ, выполненных на лампе 6Г2С ($Л_2$). Напряжение смещения на управляющую сетку лампы снимается с сопротивления R_7, а на-

пряжение задержки — с обоих сопротивлений $R_7 + R_8$, включенных в цепь катода лампы. В остальном схема ничем не отличается от рассмотренных ранее.

ИНДИКАТОРЫ НАСТРОЙКИ

Наличие автоматической регулировки чувствительности, применяемой, как правило, во всех современных супергетеродинных приемниках, значительно затрудняет точную на-



Фиг. 41. Электроннолучевой индикатор настройки 6Е5С.

а — устройство индикатора (*1* — экран, 2 — катод, *3* — управляющая пластина, *4* — анод, *5* — сетка триода, *6* — щиток, загораживающий свет от катода); *б* — светящийся экран при отсутствии сигнала; *в* — светящийся экран при настройке на радиостанцию; *г* — схема включения электроннолучевого индикатора.

стройку приемника на слух. Причина этого заключается в следующем: при точной настройке на радиостанцию система АРУ уменьшает усиление приемника, а при некоторой расстройке, когда станция должна быть слышимой очень слабо, падение усиления компенсируется действием системы АРУ и принимаемая радиостанция слышна хорошо. Однако, качество приема при этом ухудшается. Для того чтобы можно было точно настроиться на принимаемую радиостанцию, в приемниках, имеющих систему АРУ, обычно устраивают специальные индикаторы настройки.

Наиболее широкое распространение в радиовещательных приемниках получили электроннолучевые индикаторы

настройки типа 6Е5С. Устройство и схема включения этого индикатора настройки приведены на фиг. 41.

Индикатор представляет собой трехэлектродную лампу, в верхней части которой расположен металлический экран *1*. Поверхность экрана покрыта веществом, которое светится при попадании на него электронов.

В центре экрана имеется небольшое отверстие; в это отверстие выходит верхняя часть катода *2* лампы. На экран подается положительное напряжение порядка 250 *в*, вследствие чего он подвергается интенсивной бомбардировке со стороны электронов, излучаемых верхней частью катода, и ярко светится.

Около катода, со стороны нижней части экрана, расположена металлическая пластинка *3*, соединенная с анодом *4* лампы. Последний через сопротивление R_3 подключен к экрану. Когда через лампу протекает ток, на сопротивлении R_3 падает напряжение, вследствие чего анод лампы и пластинка оказываются под отрицательным потенциалом относительно экрана. В результате этого пластинка отталкивает пролетающие мимо нее электроны и на экране за ней образуется затемненный сектор.

Управляющая сетка индикатора подключается через развязывающий фильтр (R_2C_5) к нагрузке диода АРУ или детектора приемника. Назначение этого фильтра — не пропустить к сетке лампы низкочастотную составляющую продетектированного напряжения.

Когда приемник точно настроен на радиостанцию, отрицательное напряжение, поступающее на сетку лампы, достигает максимального значения и ее анодный ток уменьшается. Вследствие этого уменьшается падение напряжения на сопротивлении R_3 и напряжение на пластинке *3* приближается к напряжению на экране. Последнее приводит к тому, что отталкивающее действие пластинки *3* ослабляется и затемненный сектор сужается. Таким образом, о точной настройке судят по наименьшей ширине затемненного сектора.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА

Рассмотрим приниципиальную схему типового супергетеродинного приемника второго класса на примере радиоприемника «Баку».

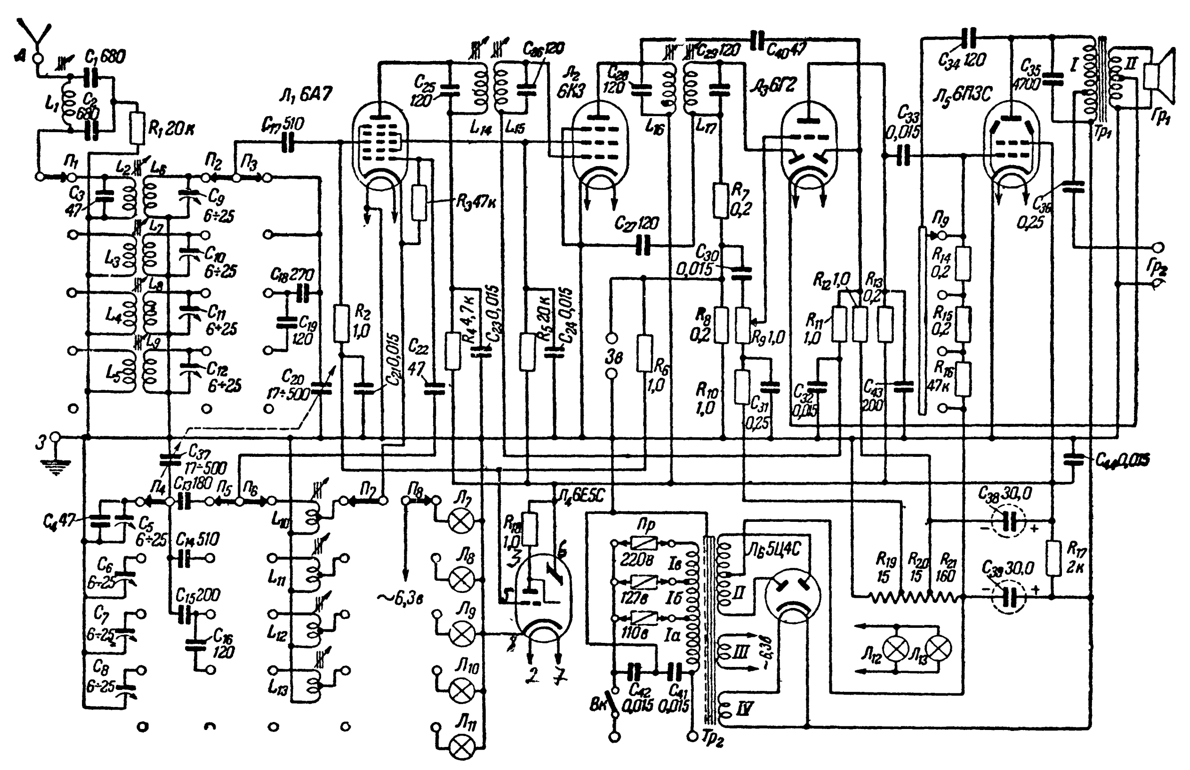
Приемник «Баку» представляет собой шестиламповый супергетеродин с питанием от сети переменного тока напряжением 110, 127 или 220 *в*. Он позволяет вести прием радиостанций, работающих на длинноволновом (2 069 — 705,8 *м*), средневолновом (588,1—184 *м*) и двух коротковолновых (75—37,5 *м* и 33,3—24,2 *м*) диапазонах. Кроме того, он может быть использован для воспроизведения граммзаписи. В приемнике предусмотрена возможность включения дополнительного (внешнего) громкоговорителя, рассчитанного на работу от радиотрансляционной сети напряжением 30 *в*.

Номинальная мощность приемника равна 1,5 *вт*. Его чувствительность составляет около 200 *мкв*. Избирательность по соседнему каналу (при расстройке на ±10 *кгц*) — не менее 20 раз (26 *дб*). Ослабление зеркального канала на длинноволновом диапазоне — не менее 63 раз (36 *дб*), на средневолновом — 31,4 раза (30 *дб*) и на коротковолновых — 4 раза (12 *дб*). Ослабление сигналов, частота которых равна промежуточной частоте приемника (465 *кгц*), превышает 50 раз (34 *дб*). При изменении напряжения на входе приемника в 20 раз напряжение на его выходе вследствие действия системы АРУ изменяется всего в 2,5 раза.

Приемник потребляет от сети переменного тока около 40 *вт*.

Принципиальная схема приемника приведена на фиг. 42. Связь антенны с входными контурами на всех диапазонах индуктивная. Для ослабления помех, частота которых равна или близка к промежуточной, в цепь антенны включен фильтр, состоящий из катушки L_1, конденсаторов C_1 и C_2 и сопротивления R_1. Для уменьшения числа витков катушки связи L_2 длинноволнового диапазона параллельно ей подключен конденсатор C_3.

Параллельно катушкам L_6, L_7, L_8 и L_9 входных контуров включены подстроечные конденсаторы соответственно C_9, C_{10}, C_{11} и C_{12}, служащие для выравнивания начальной емкости этих контуров и получения требуемого коэффициента перекрытия по диапазону. Настройка контуров осуществляется посредством конденсатора переменной емкости C_{20}. На первом коротковолновом диапазоне (75—37,5 *м*) для уменьшения коэффициента перекрытия последовательно с этим конденсатором подключается конденсатор постоянной емкости C_{18}, а на втором (33,3—24,2) —



Фиг. 42. Принципиальная схема супергетеродинного приемника.

конденсаторы C_{18} и C_{19}. Напряжение сигнала, снимаемое с контура того диапазона, на котором работает приемник, через конденсатор C_{17} поступает на управляющую сетку лампы $Л_1$ преобразователя частоты.

В преобразователе частоты применен гептод 6А7 ($Л_1$). Гетеродин собран по трехточечной схеме с обратной связью в цепи катода. Настройка контуров гетеродина (катушки L_{10}, L_{11}, L_{12} и L_{13}) производится конденсатором переменной емкости C_{37}, находящимся на одной оси с конденсатором C_{20}. Сопряжение контура гетеродина с входными контурами осуществлено посредством конденсаторов C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, которые включаются параллельно конденсатору переменной емкости C_{37}, и конденсаторов C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16}, подключаемых последовательно с конденсатором C_{37}.

В анодную цепь лампы $Л_1$ включен первый контур полосового фильтра промежуточной частоты C_{25} L_{14} L_{15} C_{26}. Напряжение со второго контура этого фильтра подается на управляющую сетку лампы 6К3 ($Л_2$) усилителя ПЧ. В анодную цепь лампы $Л_2$ включен второй двухконтурный фильтр промежуточной частоты $C_{28}L_{16}L_{17}C_{29}$.

Усиленное напряжение ПЧ детектируется левым (по схеме) диодом лампы 6Г2 ($Л_3$). Полученное в результате детектирования напряжение НЧ снимается с сопротивления R_8 и через конденсатор C_{30} поступает на потенциометр R_9, служащий для регулировки громкости. Снимаемое с этого потенциометра низкочастотное напряжение поступает на сетку триодной части лампы 6Г2, работающей в каскаде предварительного усиления НЧ. Постоянная составляющая продетектированного напряжения подается на управляющую сетку электроннолучевого индикатора настройки 6Е5С ($Л_4$), а также используется как регулирующее напряжение системы АРУ для преобразовательной лампы 6А7 ($Л_1$).

Напряжение смещения, а также задержки для системы АРУ снимается с последовательно соединенных сопротивлений R_{19}, R_{20}, R_{21}, включенных в цепь «минуса» выпрямленного напряжения. Постоянное напряжение на этих сопротивлениях образуется вследствие того, что через них протекают анодный ток и токи экранных сеток всех ламп приемника. В частности, напряжение смещения на управляющую сетку лампы 6Г2 снимается с сопротивления R_{19}. Сопротивление R_{10} и конденсатор C_{31} образуют фильтр, который дополнительно сглаживает пульсации выпрямленного

напряжения, а также препятствует возникновению паразитных связей через сеточные цепи.

Правый (по схеме) диод лампы 6Г2 используется как детектор АРУ для лампы $Л_2$ усилителя ПЧ. Напряжение задержки снимается с сопротивлений $R_{19} + R_{20}$. Так как это напряжение поступает одновременно и на управляющую сетку лампы $Л_2$, то оно используется как начальное отрицательное смещение для этой лампы.

Оконечный каскад собран на лучевом тетроде 6П3С ($Л_5$). Отрицательное смещение на управляющую сетку этой лампы снимается с сопротивлений $R_{19} + R_{20} + R_{21}$.

Оба каскада усилителя НЧ охвачены отрицательной обратной связью. С этой целью катод лампы 6Г2 подключен к части витков вторичной обмотки *II* трансформатора $Тр_1$. Направление витков этой обмотки выбрано таким, что напряжение, подаваемое с нее на катод лампы 6Г2, находится в фазе с напряжением НЧ, подводимым к управляющей сетке этой лампы от регулятора громкости R_9. В результате между сеткой и катодом лампы действует напряжение, равное разности между напряжением сигнала и напряжением обратной связи, т. е. меньшее, чем снимаемое с регулятора громкости на сетку лампы 6Г2. Это равноценно уменьшению коэффициента усиления усилителя НЧ.

Таким образом, введение отрицательной обратной связи уменьшает коэффициент усиления усилителя. Однако в данном случае это не страшно, так как уровень сигнала после детектора приемника достаточно велик. В то же время введение отрицательной обратной связи резко снижает частотные и нелинейные искажения, вносимые усилителем. Последнее объясняется следующим. Искаженное напряжение сигнала с выхода усилителя через цепь отрицательной обратной связи подается на его вход в такой фазе, что после вторичного усиления эти искажения на выходе усилителя оказываются противоположными по фазе искажениям, вносимым самим усилителем. Вследствие этого результирующие составляющие переменного напряжения на выходе, вызывающие искажения, уменьшаются, что и приводит к снижению искажений.

Для регулировки тембра в приемнике введена вторая, но уже частотнозависимая цепь отрицательной обратной связи. Здесь напряжение отрицательной обратной связи подается с анода оконечной лампы (6П3С) на ее управляющую сетку через конденсатор небольшой емкости C_{34}

и переключатель $П_9$, подключающий цепь обратной связи к той или иной части сопротивления утечки сетки этой лампы (сопротивления R_{14}, R_{15} и R_{16}). Так как емкость конденсатора C_{34} невелика, то из анодной цепи оконечной лампы в ее сеточную цепь поступают в основном лишь верхние частоты, т. е. ослабление усиления под действием обратной связи происходит в основном лишь на верхних частотах. В нижнем (по схеме) положении переключателя $П_9$ обратная связь минимальна, и поэтому полоса пропускания усилителя НЧ оказывается наиболее широкой. В верхнем положении, при котором обратная связь максимальна, усиление каскада на верхних частотах резко уменьшается и полоса пропускания усилителя получается узкой.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 1 р. 80 к.